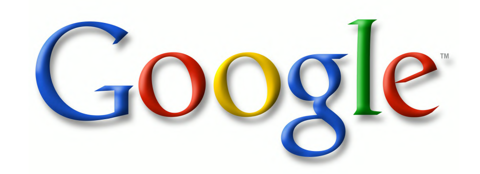


PHYSIKALISCH-CHEMISCHE

PROPAEDEUTIK

UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG

DER

MEDICINISCHEN WISSENSCHAFTEN

UND MIT

HISTORISCHEN UND BIOGRAPHISCHEN ANGABEN

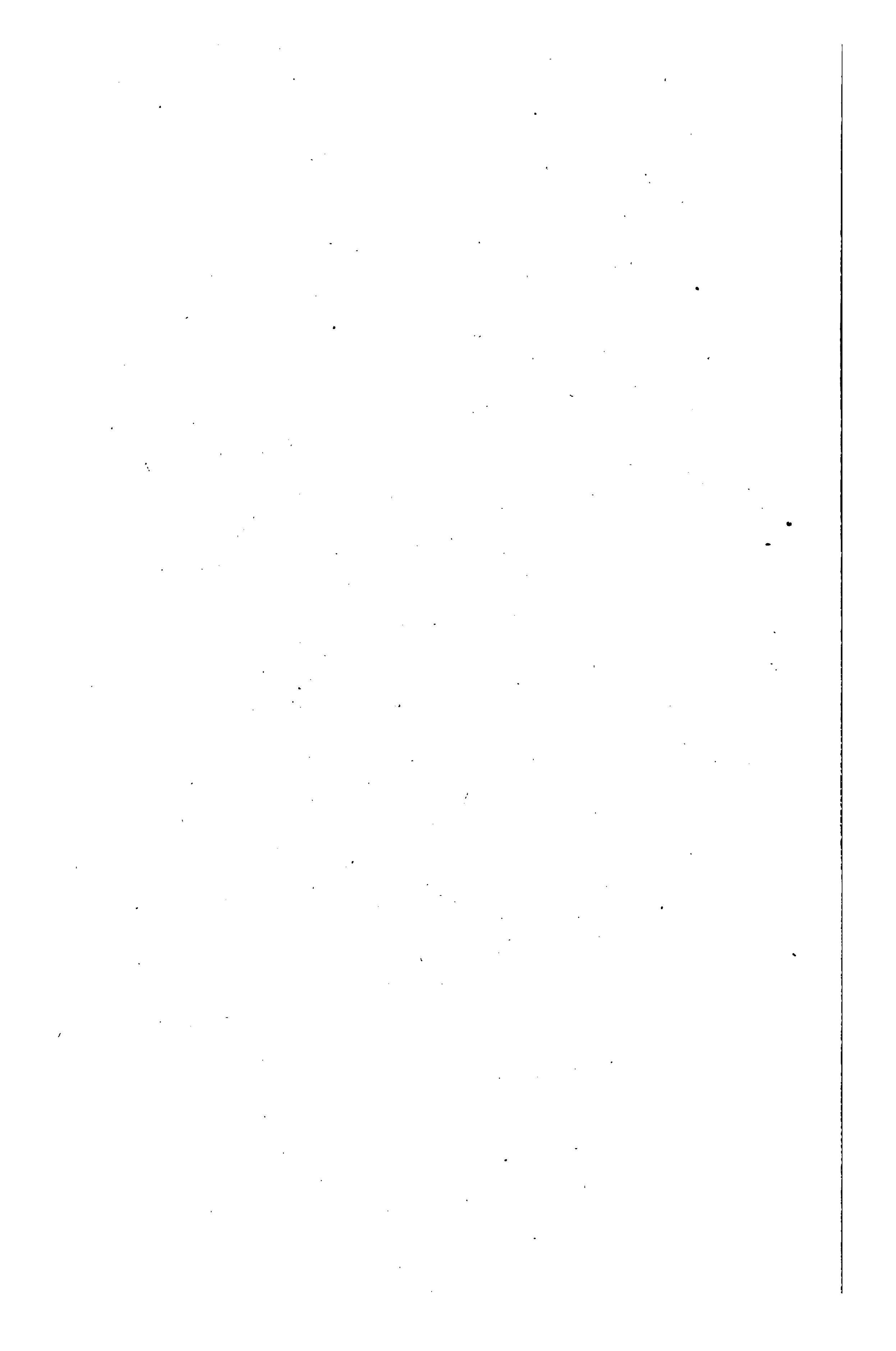
VON

PROFESSOR DR. MED. & PHIL. H. GRIESBACH

ZWEITE HÄLFTE, 3. LIEFERUNG:

BAND I, BOGEN 60–62 MIT FIGUR 202–210, SOWIE TITEL, VORWORT UND INHALT;
BAND II, BOGEN 1–22 MIT FIGUR 211–302

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1900.





Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Messung der Temperatur.

A. Methoden und Instrumente zur Temperaturmessung.

Temperaturmessen heisst den Wärmegrad oder den Intensitätsfaktor der Wärmeenergie bestimmen. Hierzu verwendet man verschiedene Methoden. Die gebräuchlichste derselben beruht auf der Thatsache, dass jede Temperaturänderung, eine ihr annäherend proportionale Volumänderung der Körper hervorruft und zwar in der Art, dass sich die Körper beim Erwärmen ausdehnen (Volumvergrösserung), beim Abkühlen zusammenziehen (Volumverkleinerung).

Eine andere Methode zur Temperaturmessung beruht auf der Aenderung des Aggregatzustandes durch Wärme, insbesondere auf dem Uebergang eines Körpers aus dem festen in den flüssigen Zustand durch Schmelzung.

Endlich kommen auch akustische, optische und elektrische Methoden, sowie eine Vertheilung von Wärme unter Benutzung der Wärmeleitung zur Anwendung.

Jede zu Temperaturmessungen geeignete Vorrichtung wird Thermometer genannt. Thermometer für hohe Temperaturen heissen auch Pyrometer.

I. Bestimmung der Temperatur durch Volumänderung von Stoffen.

Je nach dem Aggregatzustande der angewandten thermometrischen Substanz unterscheidet man Flüssigkeitsthermometer, Gasthermometer und Thermometer, die aus starrem Material, in Sonderheit aus Metall, verfertigt werden. Neuerdings hat man auch Thermometer hergestellt, in denen Gas und Flüssigkeit, von welchen letztere zur Absperrung des Gases dient, enthalten sind.

Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Messung der Temperatur.

A. Methoden und Instrumente zur Temperaturmessung.

Temperaturmessen heisst den Wärmegrad oder den Intensitätsfaktor der Wärmeenergie bestimmen. Hierzu verwendet man verschiedene Methoden. Die gebräuchlichste derselben beruht auf der Thatsache, dass jede Temperaturänderung, eine ihr annäherend proportionale Volumänderung der Körper hervorruft und zwar in der Art, dass sich die Körper beim Erwärmen ausdehnen (Volumvergrösserung), beim Abkühlen zusammenziehen (Volumverkleinerung).

Eine andere Methode zur Temperaturmessung beruht auf der Aenderung des Aggregatzustandes durch Wärme, insbesondere auf dem Uebergang eines Körpers aus dem festen in den flüssigen Zustand durch Schmelzung.

Endlich kommen auch akustische, optische und elektrische Methoden, sowie eine Vertheilung von Wärme unter Benutzung der Wärmeleitung zur Anwendung.

Jede zu Temperaturmessungen geeignete Vorrichtung wird Thermometer genannt. Thermometer für hohe Temperaturen heissen auch Pyrometer.

I. Bestimmung der Temperatur durch Volumänderung von Stoffen.

Je nach dem Aggregatzustande der angewandten thermometrischen Substanz unterscheidet man Flüssigkeitsthermometer, Gasthermometer und Thermometer, die aus starrem Material, in Sonderheit aus Metall, verfertigt werden. Neuerdings hat man auch Thermometer hergestellt, in denen Gas und Flüssigkeit, von welchen letztere zur Absperrung des Gases dient, enthalten sind.

1. Thermometer mit flüssiger Substanz.

Flüssigkeitsthermometer.

Dieselben bestehen aus einem dilatometerartigen Glasgefäss, welches die thermometrische Flüssigkeit enthält und in eine gerade oder gebogene Kapillarröhre ausläuft. Von thermometrischen Substanzen, welche zur Füllung der Röhre benutzt werden, kommen namentlich: Quecksilber, Alkohol, verdünnte Schwefelsäure, Toluol, Petroläther, flüssige Metalllegirungen u. a. m. zur Verwendung.

Da das Ausdehnungsvermögen dieser Flüssigkeiten durch Wärme grösser ist, als das des umschliessenden Glases, so besitzt der in der Röhre befindliche Substanzfaden, je nach der darauf einwirkenden Temperatur und je nach dem Verhältniss des Durchmessers der Röhre zu dem des mit ihr verbundenen erweiterten Abschnittes, eine verschiedene Länge.

a) Beschaffenheit, Anfertigung und Prüfung von Flüssigkeitsthermometern, in Sonderheit des Quecksilberthermometers.

Eines der am häufigsten gebrauchten Thermometer ist dasjenige mit Quecksilberfüllung. Wenn dasselbe oder ein anderes Flüssigkeitsthermometer zu genauen Messungen dienen soll, so ist es durchaus erforderlich, dass zur Herstellung des Instrumentes eine an allen Stellen annähernd gleichweite, und namentlich von sprungweiser Kaliberänderung freie Röhre Verwendung finde.

Untersuchung u. Vorbereitung der Röhre.

Der Glasbläser überzeugt sich daher vor der Anfertigung des Thermometers, ob dies der Fall ist, wenn nicht, so wird die Röhre verworfen. Behufs der Untersuchung wird ein Quecksilberfaden von etwa 5—10 cm Länge in die Röhre hineingesogen. Die Länge des Quecksilberfadens wird auf Papier angemerkt. Durch Neigen oder vorsichtige Erschütterungen der Röhre wird der Faden alsdann durch sie hindurchgeführt, wobei seine Länge fortwährend mit der zuerst auf dem Papier verzeichneten zu vergleichen ist. Hat man eine geeignete Röhre gefunden, so versieht man sie in der Glasbläserlampe an jedem Ende mit einer Erweiterung. Die eine Erweiterung dient als Flüssigkeitsbehälter für das fertige Thermometer, die andere, welche später wieder entfernt wird, zum Einfüllen der Flüssigkeit.

Für die Vorbereitung der Röhre und das Füllen derselben besitzt jeder Glasbläser übrigens seine eigenen Kunstgriffe. Den nachstehenden Betrachtungen legen wir das Quecksilberthermometer zu Grunde. Die Herstellung von Thermometern mit anderen Flüssigkeiten ist jener des Quecksilberthermometers ähnlich.

Füllung der Röhre und Regelung der Quecksilbermenge.

Vor dem Einfüllen muss das Quecksilber, wie in Bd. I auf p. 517 angegeben wurde, gereinigt und durch Auskochen von Luft befreit werden. Damit es durch die Kapillarröhre eindringen kann, muss diese nebst dem Aufnahmebehälter erwärmt werden. Hierbei wird Luft ausgetrieben, und das Quecksilber tritt aus der Einfüllvorrichtung an ihre Stelle. Durch wiederholtes Kochen des Quecksilbers in dem Behälter werden die letzten Spuren der noch etwa zurückgebliebenen Luft entfernt.

Die Dimensionen der Thermometerröhre und die Menge des einzufüllenden Quecksilbers richten sich natürlich nach den Temperaturen, für welche des Instrument benutzt werden soll. Die Stellen der Röhre, bis zu welcher der Quecksilberfaden für eine bestimmte höchste und niedrigste Temperatur reichen soll, kennzeichnet man durch eine Marke. Es empfiehlt sich das Quecksilber gleich so reichlich zu bemessen, dass man für die gewünschte Einstellung desselben nicht nachzufüllen braucht. Ein Ueberschuss dagegen lässt sich durch geeignetes Erwärmen des Instrumentes leicht aus der Röhre heraustreiben. Wenn der Quecksilbergehalt geregelt ist, entfernt man die Einfüllvorrichtung und zieht die Thermometerröhre in der Flamme zu einer Spitze aus. Darauf wird der Quecksilberbehälter so lange erwärmt, bis ein Tröpfchen des Metalls an der Spitze der Röhre erscheint. Alsdann folgt das Zuschmelzen der Röhre. Während des Abkühlens zieht sich das Quecksilber zurück und es entsteht über demselben ein luftleerer Raum.

Schliessung der Röhre.

Bestimmung der Fundamentalpunkte.

Nun werden die sogenannten Fundamental- oder Fixpunkte des Thermometers, der Eispunkt und der Siedepunkt, bestimmt. Hierbei müssen die Kapillaritätserscheinungen (zu vergl. Bd. I, p. 582 ff.), welche zwischen der Flüssigkeit und der Glaswand auftreten und den sogenannten todten Gang (L. Pfaundler) des Thermometers bedingen, berücksichtigt werden. Jedes Instrument, in welchem die thermometrische Substanz eine Flüssigkeit ist, zeigt bei derselben Temperatur einen verschiedenen Stand, je nachdem derselbe aufsteigend oder absteigend erreicht wurde (J. Pernet). Der Grund hierfür liegt in den kapillaren Widerständen, die eine Retardation (L. Pfaundler u. Platter) des Flüssigkeitsfadens bedingen. Beim Quecksilber, welches die Glaswand nicht benetzt, sind der Betrag und die Unregelmässigkeit des todten Ganges bei Temperaturabnahme bedeutender als bei Temperaturzunahme. Deswegen sollte bei jeder Temperaturbestimmung die Ablesung, wenn irgend möglich, nur bei ansteigender Temperatur vorgenommen werden. Vorsichtige Erschütterungen des Instrumentes tragen zur Beseitigung des todten Ganges

Todter Gang des Thermometers.

Bestimmung des Eispunktes.

wesentlich bei. — Der Eispunkt eines Quecksilberthermometers wird nach dem Gesagten am Genauesten in der Weise bestimmt, dass man das Instrument mit seinem Behälter in ein zu drei Vierteln mit destillirtem Wasser gefülltes Probirrohr einsenkt und letzteres dann bis über die Wasserhöhe in eine aus Eis und Kochsalz bereitete Kältemischung (zu vergl. Bd. I, p. 746) stellt. Die Temperatur des Wassers sinkt unter Null und es erfolgt alsbald die Ausscheidung von Eis. Durch einen geeigneten Rührer verhindert man die Unterkühlung und vertheilt das sich bildende Eis möglichst fein. Das Quecksilber steigt nun in wenigen Minuten genau bis zum Eispunkt und bleibt dort stehen. Der Einfachheit wegen bettet man in den meisten Fällen das Thermometer nur in reines, geschabtes Eis ein und sorgt vor der Ablesnung oder Markirung des Eispunktes durch sanftes Klopfen für eine regelmässige Kuppenbildung. Zur Bestimmung des oberen Fundamentalpunktes bringt man das Thermometer in einen Siedeapparat.

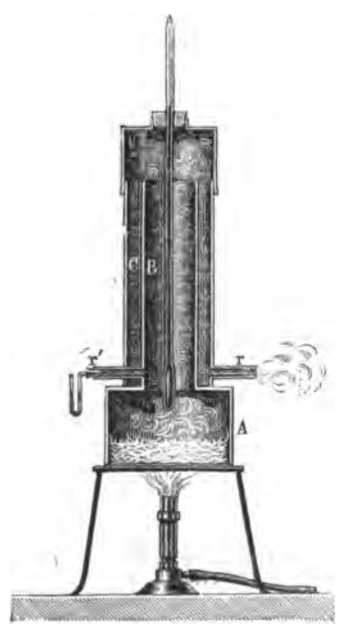


Fig. 211. Siedeapparat von Rudberg; Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Bestimmung des Siedepunktes.

Der Apparat von F. Rudberg (Fig. 211) besteht aus dem Behälter *A* aus Weiss- oder Messingblech, der sich nach oben in das Rohr *B* verjüngt. Letzteres ist von dem Blechmantel *C* umgeben. In die Wand von *C* ist der Rohrstutzen *r*, in die Wand des Mantels *C* der Stutzen *r'* eingesetzt. Der zu dem Apparat gehörige Deckel ist mit einer Oeffnung zur Aufnahme eines, das Thermometer haltenden Korkes versehen. Das im Behälter *A* enthaltene destillirte Wasser wird durch eine darunter gestellte Lampe zum Sieden erhitzt und 15 Minuten lang in diesem Zustande erhalten. Das obere Ende des Quecksilberfadens muss aus dem Siedegefässe hervorragen, um bei der Undurchsichtigkeit der Wände des Apparates die Quecksilberhuppe, ohne das Thermometer herauszunehmen, beobachten zu können, und um zu verhindern, dass Quecksilber in die Spitze der Kapillare destillirt (B. Walter), wodurch ein Fehler entstehen würde. Das Thermometergefäss darf nicht in das Wasser tauchen (zu vgl. Bd. I, p. 607), selbst das Anspritzen von Flüssigkeitstheilchen sucht man durch ein kleines, unten geschlossenes Röhrchen aus dünnem Blech, welches das Thermometergefäss umgiebt, zu verhindern. Der Wasserdampf steigt in dem Rohr *B* empor, bringt das Thermometer auf den Siedepunkt des Wassers, tritt dann in den Mantelraum, verhindert die Abkühlung des Innenraumes von *B* und entweicht durch den Stutzen *r* ins Freie. In die äussere Oeffnung von r_1 wird ein kleines Wasser-Manometer

eingesetzt. Dieses dient zur Erkennung des Dampfüber- oder -unterdruckes im Inneren des Apparates. Nach J. Pernet soll das Manometer mit dem Dampfkessel und nicht nur mit dem äusseren Dampfmantel in Verbindung stehen. Ist der Dampfdruck grösser als der Luftdruck, und beträgt der letztere nicht 760 mm, so sind für die Feststellung des oberen Fundamentalpunktes am Thermometer die erforderlichen Korrektionen (zu vergl. Bd. I, p. 601 und 610) anzubringen. Man reduzirt den Barometerstand auf 0°, addirt zu dem erhaltenen Werthe *b* den Werth *p* des Manometers, dividirt durch 13,6 (spezif. Gewicht des Quecksilbers), und entnimmt den Siedepunkt des Wassers bei $b + \frac{p}{13,6}$ mm Druck folgender Tabelle:

Tabelle für die Siedetemperatur des Wassers.

Barometer mm	Siede-temperatur Grad	Barometer mm	Siede-temparatur Grad	Barometer mm	Siede-temperatur Grad
720	98,49	740	99,26	760	100,00
721	98,53	741	99,29	761	100,04
722	98,57	742	99,33	762	100,07
723	98,61	743	99,37	763	100,11
724	98,65	744	99,41	764	100,15
725	98,69	745	99,44	765	100,18
726	98,72	746	99,48	766	100,22
727	98,76	747	99,52	767	100,26
728	98,80	748	99,56	768	100,29
729	98,84	749	99,59	769	100,33
730	98,88	750	99,63	770	100,36
731	98,92	751	99,67	771	100,40
732	98,95	752	99,70	772	100,44
733	98,99	753	99,74	773	100,47
734	99,03	754	99,78	774	100,51
735	99,07	755	99,82	775	100,55
736	99,11	756	99,85	776	100,58
737	99,14	757	99,89	777	100,62
738	99,18	758	99,93	778	100,65
739	99,22	759	99,96	779	100,69

O. J. Broch hat in d. Trav. et Mém. du Bur. internat. des poids et mesures 1881 I. A. p. 33 derartige Tabellen für die zu dem ermittelten Drucke gehörige Siedetemperatur berechnet.

O. J. Broch 1818—1889.

Ole Jakob Broch wurde am 14. Januar 1818 in Fredriksstad in Norwegen geboren, war Professor der Mathematik und Physik in Christiania und von 1869 bis 1872 Minister; er starb am 5. Februar 1889 in Paris, wo er als Mitglied der internationalen Meterkommission beschäftigt war.

Nach J. Pernet (Trav. 1882 p. 52, Carl's Rep. 11, 308, Zeitschrift f. Instrumentenk. 3, 41) empfiehlt es sich diejenige Differenz der Fundamentalpunkte als die richtigste anzusehen, welche erhalten wird, wenn beide Punkte am Ende einer

Reihe von abwechselnden Bestimmungen des Siede- und Gefrierpunktes einen tiefsten konstanten Stand angenommen haben.

G. Melander (Litvz. 2) hat einen Apparat zur Siedepunktsbestimmung empfohlen, in welchem das Thermometer sowohl in senkrechter als auch in waagerechter Richtung untersucht werden kann. Das Siedegefäss ist eine drehbare cylindrische Trommel, die sich in zwei um 90° gegen einander verschiedene Lagen festhalten lässt. In horizontaler Lage des Instruments beobachtet man den Siedepunkt etwas höher, da das Thermometergefäss, von dem Druck der Quecksilbersäule entlastet, sich etwas zusammenzieht.

Um die Messung der Dampfspannung mit der grössten Genauigkeit an derjenigen Stelle des Dampfraumes zu bewerkstelligen, die der Mitte des Thermometergefässes entspricht und zwar, wenn sich der Dampf daselbst in Ruhe befindet, hat die physikalisch-technische Reichsanstalt einen Siedeapparat mit Hülfsapparaten anfertigen lassen, deren Einrichtung in der Beschreibung von J. Pernet, W. Jaeger und E. Gumlich, Zeitschrift für Instrumentenk. 1895, Jahrg. 15, p. 121 ff. nachzulesen ist.

Anfertigung der Skala.

Für die Strecke zwischen den, in der angegebenen Weise ermittelten, und an der Röhre angemerkten Fundamentalpunkten wird die Skala angefertigt, die sich dann über die beiden Fundamentalpunkte hinaus, soweit die Röhre reicht, verlängern lässt.

Bei Thermometern für den Hausgebrauch werden manchmal, ähnlich wie beim Barometer (zu vergl. Bd. I, p. 512), an die Skala allerhand Ausdrücke geschrieben, die sich auf die praktische Verwendung bestimmter Temperaturen oder auf Naturerscheinungen beziehen.

Für manche Thermometer zeichnet man die Skala auf einen Papierstreifen, welcher in eine, an die Thermometerröhre angeschmolzene oder diese umhüllende Glasröhre eingeklebt wird.

Nach H. F. Wiebe (Zeitschrift f. Instrumentenk. 5, p. 304 und 307) verkürzen Papierskalen sich übrigens beim Erwärmen über 70° C. und scheiden Wasser aus. Ihre Länge ist also wegen ihres Feuchtigkeitsgehaltes in erheblichem Grade von der Temperatur abhängig. Die zur Verwendung gelangende Papierskala muss daher, um spätere Fehler zu vermeiden, vor der definitiven Fertigstellung des Instrumentes ausgetrocknet werden.

Vielfach wird die Skala auf einen, für die Thermometerröhre als Träger dienenden Streifen aus Holz, Metall, Elfenbein, Milchglas, Porzellan etc. aufgetragen (zu vergl. Bd. I, p. 697, Fig. 138 am Stativ). Auch derartige Skalen werden häufig sammt der Thermometerröhre in eine entsprechend weite Umhüllungsröhre eingesetzt [Einschlussthermometer] (zu vergl. Bd. I, p. 702, Fig. 142 *B*). Die besseren Einschlussthermometer haben Milchglasskalen, auf welchen die Eintheilung und Zahlen in dünnem Wachsgrund gravirt, mit Fluorwasserstoffsäure geäzt und mit Farbe eingerieben werden. Oftmals ist es wünschenswerth, dass die Thermometerröhre selbst die Skala trägt, dieselbe wird dann in die Glaswand des Stabkapillarrohrs mit der genannten Säure eingeätzt (Stabthermometer).

Um eine völlig unverrückbare und unveränderliche Skala für Einschlussthermometer zu erhalten, hat O. Bock folgendes Verfahren eingeschlagen: Wie aus Fig. 212 ersichtlich, ist in die äussere Umhüllungsröhre *a* eine genau hineinpassende dünnwandige Röhre *b* geschoben. Beide Röhren sind aus demselben Glas verfertigt und bei *c* mit einander verschmolzen. Die Kapillare liegt im Innenraume der Röhre *b* hart an ihrer Innenwand und ragt am oberen Ende des Thermometers durch die kleine Oeffnung *e* in den Zwischenraum zwischen der hier verengerten Röhre *b* und der Röhre *a* hinein. Auf die vordere Wand der Röhre *b* ist die Skala eingeätzt, die Hinterwand von *b* trägt einen weissen Belag, so dass die Skalenstriche sehr deutlich erscheinen.

Näheres über die Anfertigung der Skala mit oder ohne Theilmaschine findet man in J. Frick's physikalischer Technik, bearb. von O. Lehmann, 6. Aufl., Braunschweig, 1898, Bd. 1, p. 247 und 436.



Fig. 212. Bock'sches Thermometer mit eingelegtem, die Skala tragendem Rohr.

Arten der Thermometerskalen.

Statt einer einzigen Skala finden leider deren drei Verwendung, die ihren Namen nach Réaumur, Celsius und Fahrenheit tragen (zu vergl. d. histor. Abschnitt).

Bei der Réaumurskala (R) bezeichnet man den Eispunkt mit 0, den Siedepunkt mit 80 und theilt den Zwischenraum in 80 Grade. Diese Skala ist im täglichen Leben (Zimmer, Bad etc.), namentlich in Deutschland, gebräuchlich. Bei der Celsiusskala (C) heisst der untere Fundamentalpunkt ebenfalls 0, am oberen dagegen findet sich die Zahl 100, und der Zwischenraum wird in 100 Grade getheilt.

Die hundertgradige Skala wird in der Wissenschaft gebraucht. Bei beiden Skalen werden die Grade unter Null Minus-, die über Null Plus-Grade genannt. Bei der Fahrenheitskala (F) ist nicht der Gefrierpunkt des Wassers der untere Fundamentalpunkt, sondern der letztere entspricht einem, durch eine Kältemischung erzeugten, künstlichen Frostpunkte. Der Siedepunkt wird mit $+212^0$ bezeichnet. Der Zwischenraum zwischen dem unteren Fundamentalpunkte, dem Anfangspunkte der Zählung, und dem Siedepunkte des Wassers ist in 212 Grade getheilt. Der Nullpunkt entspricht $-17{,}77^0$ C. und $-14{,}22^0$ R. Am Gefrierpunkte des Wassers steht auf der Fahrenheitskala $+32^0$ (zu vergl. Fig. 213 a. f. S.). Die Strecke zwischen diesem und dem Siedepunkte $+212^0$ umfasst somit 180 Grade.

Die Fahrenheitskala wird fast ausschliesslich in Amerika, England und den englischen Kolonien gebraucht, hat also von allen

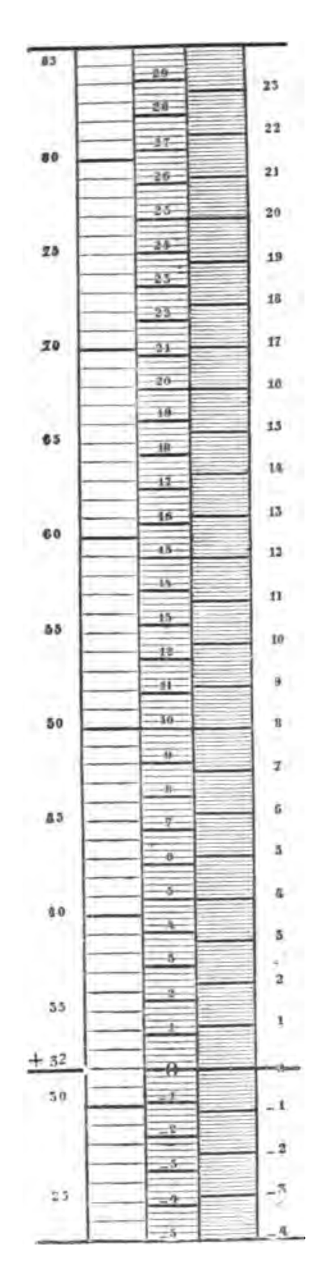


Fig. 213. Vergleichung der Thermometerskalen. In der Mitte die Skala von Celsius, rechts die von Réaumur, links die von Fahrenheit.

Thermometern, in Bezug auf die Anwendung im täglichen Leben, die weiteste Verbreitung.

Die Grösse der Entfernung zwischen zwei Gradstrichen der Skalen hängt natürlich von der Weite der angewandten Kapillare ab. Der Eintheilung gemäss muss aber diese Entfernung bei der Skala von Réaumur grösser als bei der hunderttheiligen Skala, und bei dieser bedeutender als bei der von Fahrenheit sein, wie aus der Fig. 213 hervorgeht.

Bei Thermometern mit sehr enger Kapillare beträgt die Strecke zwischen zwei Gradstrichen mehrere Centimeter und es lässt sich daher jeder Grad noch in Zehnteln, Hundertsteln etc. eintheilen, wodurch die Bestimmung der Temperatur an Genauigkeit gewinnt. Thermometer mit einer derartigen Verfeinerung finden für besondere Zwecke Anwendung. Ihre Skala umfasst nur wenige Grade (gebrochene Skala), da die Instrumente sonst sehr lang und in Folge dessen unhandlich und zerbrechlich werden würden (zu vergl. I, 1 d).

Für manche Zwecke, beispielsweise für Temperaturbestimmungen bei der Destillation unter vermindertem Druck, vertheilt man die Skala für ein grösseres Temperaturintervall auf mehrere Instrumente, von denen ein jedes nur eine geringe Länge (10 bis 22 cm) besitzt.

Umrechnung der Thermometerskalen.

Die Verwandlung der Gradwerthe der drei besprochenen Skalen in einander ist sehr einfach: 4° R. = 5° C. = 9° F. Bei der Verwandlung von Fahrenheitgraden muss man sich nur erinnern, dass die Zählung bei einem um 32° tiefer als bei den anderen Skalen gelegenen Punkte beginnt, es sind also vor der Verwandlung 32° abzuziehen. Bei der Umrechnung in Fahrenheit-

grade muss man die den anderen Skalen fehlenden 32° nach der Verwandlung addiren.

Zur Umrechnung bedient man sich folgender Formeln:

Verwandlung der Centesimalskala in die Réaumurskala: $\frac{C^0 . 4}{5} = R^0$.

" " Réaumurskala in die Centesimalskala: $\frac{R^0 . 5}{4} = C^0$.

" " Fahrenheitskala in die Réaumurskala: $\frac{(F^0 - 32) . 4}{9} = R^0$.

" " Fahrenheitskala in die Centesimalskala: $\frac{(F^0 - 32) . 5}{9} = C^0$.

" " Réaumurskala in die Fahrenheitskala: $\frac{R^0 . 9}{4} + 32 = F^0$.

" " Centesimalskala in die Fahrenheitskala: $\frac{C^0 . 9}{5} + 32 = F^0$.

Wenn nach dem Auskochen des Quecksilbers in der Thermometerröhre und nach dem Zuschmelzen derselben das Glas sich abkühlt, so zieht es sich wegen der sinkenden Temperatur zusammen.

Die öfters vertretene Annahme, dass hierbei auch der äussere Luftdruck betheiligt sei, ist nicht ohne Widerspruch geblieben (zu vergl. J. M. Crafts Compt. rend. T. 91, p. 574 und T. 95, p. 910).

Einfluss der thermischen Nachwirkung auf die Angaben des Thermometers.

Nach der Abkühlung aber behält das Glas des Thermometers einen Theil der durch die Wärme erfahrenen Ausdehnung längere Zeit bei, eine Eigenthümlichkeit, welche thermische Nachwirkung oder Nachwirkungsdilatation genannt wird. Die Grösse derselben ist nach J. Pernet dem Quadrate der vorausgegangenen Erhitzungstemperatur ungefähr proportional. Werden nun die Fundamentalpunkte bald nach der Anfertigung des Instrumentes bestimmt, so müssen dieselben bei weiterer Zusammenziehung des Glases eine Verschiebung nach oben erfahren, wodurch die Temperaturbestimmungen an Genauigkeit einbüsst. Die thermische Nachwirkung, und somit auch der Anstieg der Fundamentalpunkte kann Monate lang dauern. (Säkularer Anstieg.) Nicht nur bei der Anfertigung des Thermometers, sondern auch bei jedem späteren Gebrauch desselben in hoher Temperatur treten Verschiebungen der Fundamentalpunkte ein. So oft nämlich das Thermometer einer hohen Temperatur ausgesetzt wird, erweitert sich das Gefäss und nimmt eine gewisse Menge des Quecksilbers aus der Röhre in sich auf, so dass die Fundamentalpunkte herabgedrückt werden. Auch diese Depression verschwindet gleichfalls nur langsam. Handelt es sich bei stark wechselnden Temperaturen um genaue Messungen, so setzt man das Thermometer ungefähr eine Stunde vorher einer Temperatur aus, welche oberhalb der höchsten Gebrauchstemperatur liegt und bezieht die Skala auf diesen Zustand.

Beziehung zwischen thermischer Nachwirkung und Zusammensetzung des Glases.

B. Weber hat gezeigt, dass die thermische Nachwirkung von der chemischen Zusammensetzung des Glases herrührt, und dass sie bei Glassorten mit Kali- und Natrongehalt am bedeutendsten ist. Im glastechnischen Laboratorium von Abbe und Schott in Jena ist es unter Mitwirkung von H. F. Wiebe gelungen drei Glassorten, sogenannte Jenaer Normalgläser herzustellen, die von den beiden genannten Alkalien nur das eine oder das andere enthalten, wodurch die Nachwirkung auf ein Minimum beschränkt wird.

Die Zusammensetzung dieser drei Glassorten ist nach H. F. Wiebe (Litverz. 2, Z. f. Instk. 6. Jahrg., p. 170) folgende:

Jenaer Glas Schmelzungsnummer	Zusammensetzung							Depression für 100°
	Kieselsäure	Natron	Kali	Zinkoxyd	Kalk	Thonerde	Borsäure	
XIV^III	69	14	—	7	7	1	2	0,05°
XVI^III	67,5	14	—	7	7	2,5	2	0,05°
XVIII^III	52	—	9	30	—	—	9	0,05°

Das 2. dieser Gläser wird als Jenaer Normalglas in grossem Umfange zur Thermometeranfertigung verwandt. Die anderen zwei sind ungebräuchlich. Ein Borosilicatglas (zu vergl. p. 22) hat die geringste Nachwirkung.

Schott (Ueber die Ausdehnung von Gläsern und über Verbundglas; Vortrag, gehalten im Verein zur Beförderung des Gewerbefleisses zu Berlin, 4. April 1892; Berlin 1892) bringt den säkularen Anstieg der Thermometerskala mit eigenthümlichen Spannungserscheinungen im Glase, nicht dagegen mit der durch die hohen Anfertigungs-Temperaturen des Glases bedingten Nachwirkung in Zusammenhang.

W. Hoffmann hat die thermische Nachwirkung der sogenannten Kompensationsthermometer untersucht, welche von Schott aus zwei verschiedenen Glassorten, dem Jenaer Thermometerglas XVI^III von verhältnissmässig geringer Nachwirkung, und dem Glas 335^III von bedeutender Nachwirkung, angefertigt wurden. Es scheint möglich, auf diese Weise Thermometer ohne Nachwirkung herzustellen.

Korrektion wegen des herausragenden Fadens.

Die bei einer thermometrischen Messung anzubringende Korrektion für den herausragenden Faden (zu vergl. Bd. I, p. 609 u. die citirte Arbeit von E. Rimbach) lässt sich durch passende Anbringung des Instrumentes oder dadurch vermeiden, dass man Thermometer mit kurzer Skala verwendet, die nur eine gewisse Anzahl von Graden umfasst.

Um einen völlig unveränderlichen Nullpunkt zu erzielen, hat L. Marchis (Journal de Phys. 1895 (3), p. 217) vorgeschlagen an Stelle des Glasgefässes der gewöhnlichen Thermometer ein zum Schutze gegen Stösse mit zwei sich kreuzenden Glasringen umgebenes Platingefäss an die Glasröhre anzuschmelzen. Von zwei derartigen Thermometern änderte sich bei dem einen der Nullpunkt gar nicht, bei dem anderen nur um $^1/_{1000}$ Grad, wenn das Instrument abwechselnd in schmelzendes Eis und siedendes Wasser getaucht wurde.

Ueber die zur Erklärung der Nachwirkung herangezogenen molkularen Lageveränderungen im Glase vergleiche man die Hypothese von Ferd. Braun (s. Literaturverz. unter 2.) und die Bemerkungen A. Mahlke's (Ann. d. Phys. und Chem. N. F. Bd. 53, p. 992.)

Fadenthermometer von Guillaume-Mahlke.

Ch. E. Guillaume (die unter 3 cit. Arbeit in d. Séances) hat zur Ermittelung der Korrektion für den herausragenden Faden vorgeschlagen, neben dem Hauptthermometer ein Hülfsinstrument: das sogenannte Fadenthermometer anzubringen. In der Abänderung von A. Mahlke (Annal. d. Phys. u. Chem. N. F. Bd. 53, p. 987 und die beiden unter 3 cit. Abhdlg.) wird dasselbe in der Art hergestellt, dass man an eine weitere Kapillare, welche als Gefäss dient, eine engere anschmilzt. Letztere ist wie beim gewöhnlichen Thermometer mit Skala versehen. Das Fadenthermometer unterscheidet sich vom gewöhnlichen Thermometer nur durch das fadenartige, mehrere Centimeter lang ausgezogene Gefäss. Wird nun ein solches Hülfsinstrument mit dem Thermometer, dessen Fadenkorrektion auszuführen ist, in der Art verbunden, dass die Einschnürungsstelle d. h. die Stelle, in welcher das Kapillargefäss in die Kapillarröhre übergeht, sich in gleicher Höhe mit der Quecksilberkuppe des Hauptthermometers befindet, während das Kapillargefäss in das zu messende Temperaturbad eintaucht, so zeigt das Hülfsinstrument die mittlere Temperatur des herausragenden Fadens des Hauptthermometers an, und zwar für eine Länge, welche gleich der Länge des Gefässes des Fadenthermometers ist. Angenommen diese Länge sei, in Graden des gewöhnlichen Thermometers ausgedrückt, gleich r; die Angabe des gewöhnlichen Thermometers sei T', die des Fadenthermometers t', und ferner sei α der mittlere Ausdehnungskoëffizient des Quecksilbers in der zur Anfertigung der Instrumente benutzten Glassorte [für Jenaer Glas 16^{III} ist $\frac{1}{\alpha} = 6370$, für $59^{III} = 6080$], so beträgt die Korrektion für den herausragenden Faden, welche der Angabe T^1 hinzuzufügen ist.

$$\frac{r\,(T^1 - t^1)}{\frac{1}{\alpha} + (T^1 - r)}$$

Je nachdem das Fadenthermometer zur Korrektion eines Stab- oder Einschlussthermometers dienen soll, wird es selbst in der einen oder der anderen Ausführung benutzt.

Prüfung des Thermometers.

Wenn es sich um wissenschaftliche Genauigkeit handelt, so ist jedes Thermometer vor dem Gebrauch auf seine Richtigkeit zu prüfen.

Die Prüfung erstreckt sich hauptsächlich auf die Lage der Fundamentalpunkte und auf die gleichmässige Weite der Kapillarröhre. Die erste Prüfung geschieht nach den besprochenen Methoden. In Betreff der zweiten Prüfung ist zu bemerken, dass für genaue Messungen eine geometrische Theilung des Abstandes zwischen den

Fundamentalpunkten nicht ausreicht, da völlig cylindrische Röhren kaum herstellbar sind und demnach gleichen Längentheilen nicht gleiche Volumina entsprechen. Es ist daher erforderlich die Kapillare in gleiche Volumina zu theilen, d. h. sie zu kalibriren und sich für die vorkommenden Kaliberfehler eine Korrektionstabelle anzufertigen.

Kalibriren des Thermometers.

Das Kalibriren geschieht in folgender Weise: Man wendet das Thermometer mit seinem Quecksilberbehälter nach oben und stösst es mit dem Röhrenende vorsichtig gegen die Hand. Auf diese Weise lässt sich von dem Quecksilberfaden ein Stück abtrennen.

Bei manchen Thermometern gelingt die Trennung des Quecksilberfadens erst unter Beihülfe der Centrifugalkraft, da das Quecksilber sich durch dieselbe nach zwei entgegengesetzten Richtungen treiben lässt und daher schliesslich zerreissen muss. Die einfachste Methode besteht darin, dass man das Thermometer in horizontaler Lage mit der Hand fasst und schnelle Drehungen derselben ausführt. Für Instrumente, denen diese Methode gefährlich werden könnte, empfiehlt es sich dieselben in eine geeignete Centrifugalmaschine einzuspannen. Der Drehpunkt soll in die Quecksilbersäule nahe dem Gefässe fallen.

Zu vergl. M. Thiesen: Ueber die Abtrennung von Quecksilberfäden bei Thermometern. Zeitschrift f. Instrk. 1882, Jahrg. 2 p. 105.

Die Länge des abgetrennten Fadenstückes misst man an verschiedenen Stellen der Röhre, indem man es durch behutsames Klopfen und Schütteln derartig in der Röhre verschiebt, dass sein Anfang in den auf einander folgenden Lagen möglichst genau mit seinem früheren Ende zusammenfällt. Um die Länge des Fadenstückes zu messen, legt man das Thermometer entweder auf einen Streifen von Spiegelglas und beobachtet in der Weise, dass das Spiegelbild des Auges mit den Enden des Fadenstückes sich deckt, oder man legt das Thermometer in zwei auf einem Brett befestigte Korklager und benutzt zur Beobachtung eine auf Füssen über dem Thermometer stehende Lupe. Zur Vermeidung von Parallaxenfehlern (zu vergl. Bd. I, p. 54) stellt man die Lupe so, dass der abzulesende Theilstrich geradlinig erscheint. Die Unterschiede in der Länge des Fadenstückes und die damit in Zusammenhang stehenden Veränderungen des Röhrenkalibers lassen sich genau berechnen.

Einen praktischen Kalibrirapparat aus der Werkstätte der Firma H. Rohrbeck, Berlin, und seine Anwendung haben J. Pernet, W. Jaeger und E. Gumlich in der Zeitschrift f. Instrk. 1895, Jahrg. 15, p. 43 (mit Fig. 4) besprochen.

Für die Beurtheilung eines nach allen Richtungen hin bekannten, genau korrigirten Normalthermometers kommt endlich noch die Bestimmung des sogenannten äusseren und inneren Druckkoëffizienten in Betracht. Das Volumen des Thermometergefässes und somit auch der Stand des Quecksilbers in der Kapillare ist, freilich nur in

geringem Maasse, auch von den Drucken abhängig, die auf der inneren und äusseren Seite der Wandung lasten. Der äussere Druck setzt sich aus dem herrschenden Luftdrucke und dem Drucke der Flüssigkeit zusammen, deren Temperatur zu messen ist. Der innere Druck wird durch den Druck der Quecksilbersäule und den Kapillardruck der Quecksilberkuppe bedingt. Auf die Einzelheiten der Bestimmungen der genannten Druckwerthe und der oben angedeuteten, mühevollen Kalibrirarbeit, die überdies in der Hand des Ungeübten leicht das Thermometer gefährdet, kann hier nicht eingegangen werden. Näheres darüber findet man in den hierauf bezüglichen, im Literaturverzeichniss angegebenen Schriften (zu vergl. auch den histor. Abschn.).

Vergleichung des zu prüfenden Thermometers mit einem Normalinstrument.

In den meisten Fällen wird man sich damit begnügen, das zu benutzende Instrument mit einem Normalthermometer, dessen Kapillare genau kalibrirt ist, und für welches eine Korrektionstabelle vorliegt, zu vergleichen. Dies geschieht in folgender Weise:

Beide Thermometer werden mit den Quecksilberbehältern in gleicher Höhe, nahe bei einander, am besten zusammengebunden oder durch Kautschukringe zusammengehalten, so tief in ein mit Wasser von der gewünschten Temperatur gefülltes Gefäss getaucht, wie die zu vergleichenden Skalen reichen. Zur Vermeidung ungleicher Wärmezonen im Wasser wird dieses durch einen Rührer in lebhafte Bewegung versetzt. Wenn nach etwa 10 Minuten der Stand des Quecksilbers in beiden Instrumenten konstant geworden ist, bemerkt man sich denselben. Unter fortwährendem Rühren vermischt man das Wasser im Gefäss mit wärmerem Wasser, liest nach etwa 10 Minuten wiederum den Stand beider Thermometer ab und wiederholt dieses Verfahren mehrere Male. Man habe beispielsweise gefunden:

Stand des Normalthermometers.	Stand des zu prüfenden Thermometers.	Differenz.
+ 1,5°	+ 1,7°	+ 0,2°
8,3	8,4	+ 0,1
14,6	14,6	+ 0,0
18,5	18,5	+ 0,0
24,6	24,4	— 0,2
30,2	30,0	— 0,2
36,4	36,1	— 0,3
42,2	41,8	— 0,4
50,7	50,0	— 0,7

Aus diesen Befunden wird eine Korrektionstabelle für das geprüfte Instrument in der Art berechnet, dass man annimmt, die an den untersuchten Punkten beobachtete Differenz bestehe auch von der Mitte des vorhergehenden bis zur Mitte des folgenden Tempera-

turintervalls. Die Korrektionstabelle lautet dann: Statt der am Thermometer abgelesenen Temperatur t muss es heissen:

Im Intervall 1,7	bis	5,1	t — 0,2
5,2	„	11,5	t — 0,1
11,6	„	16,5	t — 0,0
16,6	„	21,9	t — 0,0
22,0	„	27,2	t + 0,2
27,3	„	33,1	t + 0,2
33,2	„	38,9	t + 0,3
39,0	„	45,9	t + 0,5.

B. Walter (zu vergl. die im Lit.-Verz. unter 6 cit. Arbeit, Theil 1) hat zur Vergleichung von Thermometern einen einfachen, aus zwei in einander gestellten 50 cm hohen Bechergläsern bestehenden Apparat empfohlen (Fig. 214), das innere Glas hat 5, das äussere 10 cm im Durchmesser. Beide Gefässe werden bis zu gleicher Höhe mit derselben Flüssigkeit, für Temperaturen bis zu 95° mit Wasser, für höhere mit Leinöl gefüllt. Der innere Becher, dessen Rand umgebogen ist, hängt in einem Drahtdreieck, welches auf dem Rande des äusseren Bechers aufliegt. Zwischen dem Boden des inneren und äusseren Bechers bleibt auf diese Weise ein Raum von etwa 1 cm. Diese Anordnung ist nothwendig, um die Strömungen der Flüssigkeit im äusseren Becher nicht zu behindern und eine unmittelbare Einwirkung der Heizflamme auf das innere Gefäss auszuschliessen. Die zu prüfenden Thermometer werden, um das Abdestilliren von Quecksilber (zu vergl. dieselbe Arbeit; Theil 2) zu vermeiden, mit ihrer ganzen Länge in das Flüssigkeitsbad eingetaucht.

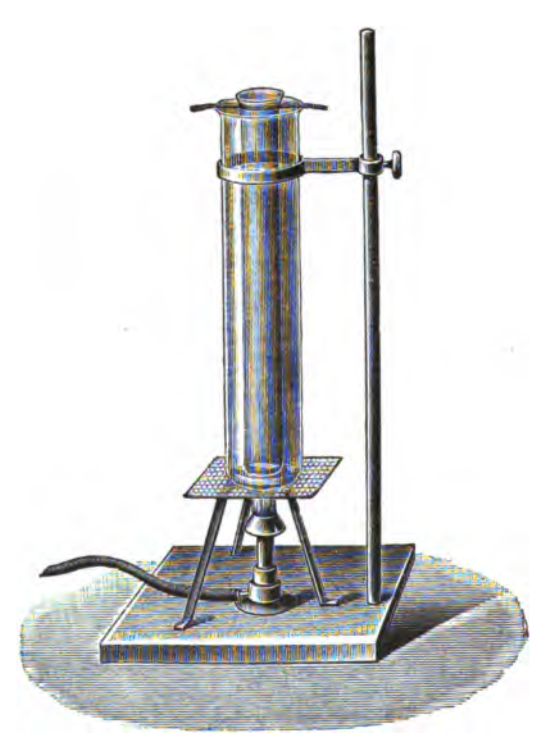


Fig. 214. Walter's Apparat zur Vergleichung von Thermometern bei beliebigen Temperaturen.

Einen anderen durch F. von Liechtenstein in der Werkstatt der physikalisch technischen Reichsanstalt angefertigten Apparat mit Oelbad zur Vergleichung

von Thermometern bei Temperaturen zwischen 50 und 300 Grad hat A. Mahlke (zu vergl. die unter 6 angeführte Arbeit) beschrieben.

In der physikalisch-technischen Reichsanstalt (Abtheilung II) zu Charlottenburg und deren Zweigstelle, der Grossherzoglichen Prüfungsanstalt für Glasinstrumente in Ilmenau, wird eine amtliche Prüfung in Bezug auf Kalibrirung und Abstand der Fundamentalpunkte an Thermometern vorgenommen, die für wissenschaftliche Zwecke Verwendung finden sollen. Die Prüfungsbestimmungen der beiden genannten Anstalten vom 9. Oktober 1888 sind am 1. April 1898 durch neue ersetzt worden und finden sich im Centralblatt für das Deutsche Reich 1898; 26, Nr. 6 zusammengestellt. (Zu vergl. auch Zeitschr. für Instrk. 1898, Jahrg. 18, p. 76.

Die Vergleichung des zu prüfenden Instrumentes mit einem Normalthermometer geschieht für Temperaturen von 0 bis 60° in Wasserbädern, über 50° in Siedeapparaten mit Rückflusskühler (zu vergl. Wiebe und Böttcher in der Zeitschrift für Instrk. 1890, Jahrg. 10, p. 26 mit Fig. 5 auf p. 27) unter Benutzung folgender Flüssigkeiten mit verschieden hochgelegenen Siedepunkten:

Substanz	Siedepunkt °C.	Substanz	Siedepunkt °C.
Chloroform	60,6	Amylalkohol	129,8
Methylalkohol	64,5	Xylol	139,4
Methyl-Aethylalkohol 1 : 1	69,8	Amylacetat	140,0
Dasselbe 3 : 7	72,4	Bromoform	148,9
Aethylalkohol	78,1	Terpentin ca.	160,0
Aethyl-Propylalkohol 16 : 3	79,8	Anilin	184,3
Benzol	79,9	Dimethylamin	194,0
Aethyl-Propylalkohol 7 : 4	82,2	Methylbenzoat	199,3
Isobutylbromid	87,4	Toluidin	199,5
Aethyl-Propylalkohol 1 : 8	91,5	Aethylbenzoat	212,3
Propylalkohol	96,0	Chinolin	235,9
Isobutylalkohol	105,7	Amylbenzoat	259,5
Toluol	109,4	Glycerin	290,1
Isobutylacetat	114,1	Diphenylamin	301,9
Paraldehyd	124,6		

Da manche der in Betracht kommenden Stoffe, unter Einwirkung des heissen Metalles des Siedekessels, Zersetzung erleiden, und der Kessel, bei der Benutzung verschiedener Stoffe nach einander, nur schwer von dem jeweilig angewandten Material zu befreien ist, hat man für die Thermometervergleichungen auch zu der Siedemethode unter vermindertem Druck seine Zuflucht genommen. Ein hierzu erforderlicher Apparat ist auf Anregung der Reichsanstalt in der Werkstätte von R. Fuess in Berlin angefertigt und von W. Pomplun (Literaturverz. unter 6) beschrieben worden.

Der Apparat ist in den Fig. 215 *A* und *B* im Durchschnitt abgebildet und besteht im Wesentlichen aus einem Siedekessel und einem Luftbehälter, mit welchem

ein Gefässbarometer (in der Figur nicht gezeichnet) verbunden ist. Ueber die nähere Einrichtung giebt die nachstehende Pomplun'sche Beschreibung Aufschluss.

Der Siedekessel, aus starkem Nickelblech verfertigt, ist der abgeänderte Rudberg'sche Apparat mit Rückflusskühler. Besondere Rücksicht war bei der Konstruktion auf den Verschluss, sowie auf die Befestigung der zu vergleichenden Thermometer zu nehmen. Auf dem oberen Rande des cylinderförmigen Mantels der Röhre *K* (Fig. 215 *A* u. *B*) ist der Metallring *a* (Fig. 215 *B*) fest aufgelöthet. Auf

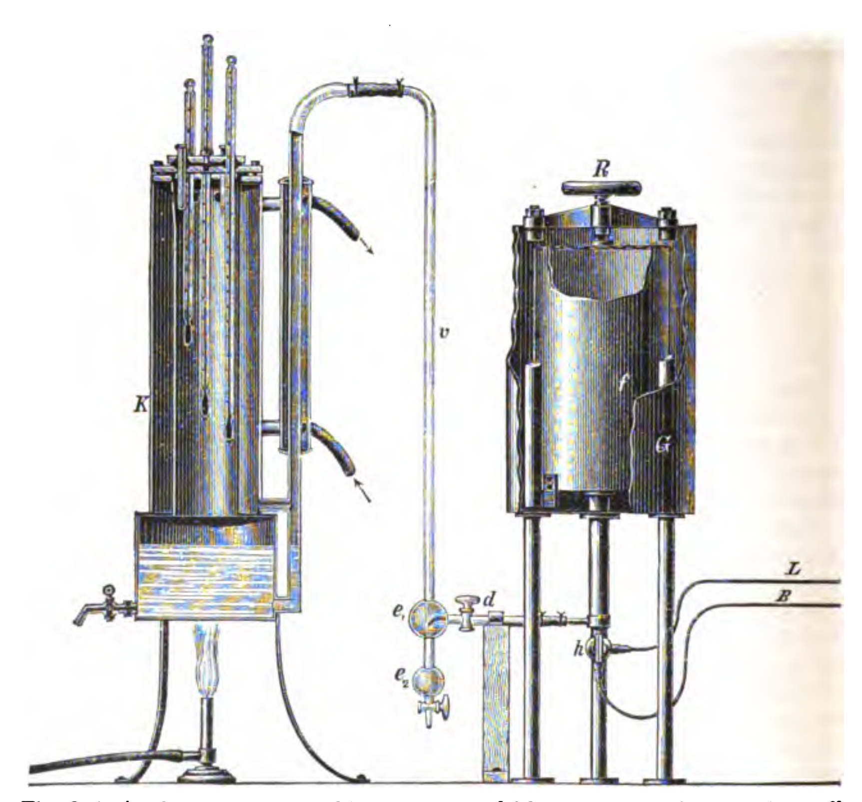


Fig. 215 *A*. Siedeapparat zur Thermometervergleichung von R. Fuess. Der vollständig montirte Apparat. Bezeichnungen im Text.

demselben ruht ein Gummiring *g*, der über den inneren Rand von *a* hinüberragt. Mit Hülfe der Schrauben *s* wird die Stahlplatte *b* fest gegen den Metallring gepresst und auf diese Weise ein luftdichter Verschluss der Siederöhre bewerkstelligt. Die Platte *b* enthält mehrere Löcher, die an ihrem oberen Rande trichterförmig erweitert sind, so dass kleine Gummiringe *r* hineinpassen, durch welche die Thermometer eingeführt werden. Ebenso wie in *b* sind in einer darüber liegenden kleineren Stahlplatte *c* eine gleiche Anzahl Löcher angebracht, die genau auf die Durchbohrungen von *b* passen und am unteren Rande ausgedreht sind. Wird nun vermittels der starken Schraube *S* die Deckplatte *c* fest gegen die Platte *b* gedrückt, so bewirken die zusammengepressten Gummiringe *r* den luftdichten

Verschluss der Löcher und die luftdichte Umschliessung der eingeführten Thermometer. Eine Gefährdung der letzteren ist nicht zu befürchten. Mit Hülfe einer Luftpumpe kann die in dem Behälter f (Fig. 215 A) enthaltene Luft bis zu jedem gewünschten Grade verdünnt und, in beschränktem Maasse, auch verdichtet werden. Geringe Druckänderungen der eingeschlossenen Luft werden dadurch ermöglicht, dass der obere Boden des Behälters f aus gewelltem Stahlblech hergestellt ist und vermittels der Radschraube R gehoben und gesenkt werden kann. Damit die Luftmasse während der Untersuchungen ihre Temperatur und damit ihre Spannung nicht ändere, ist der Behälter f von dem Gefässe G umgeben, welches Wasser von konstanter Temperatur enthält. Ein Schirm aus Asbestpappe verhindert eine Erwärmung seitens des Siedekessels. Das Glasrohr v vermittelt die Verbindung zwischen dem Behälter f und der Röhre K. Am unteren Ende des Glasrohrs befinden sich die beiden kugelförmigen Erweiterungen e_1 und e_2. In e_1 ragt das seitliche Rohr d, welches nach dem Luftbehälter führt, mit einer abwärts gebogenen offenen Spitze hinein. Diese Vorrichtung ist deswegen getroffen, damit, bei unzulänglicher Kühlung, nicht etwa überdestillirte Flüssigkeit in den Behälter f gelange, sondern, um die Spitze des Rohres d herumfliessend, sich in der Erweiterung e_2 ansammele, aus welcher sie durch den darunter befindlichen Hahn entfernt werden kann. Durch den Dreiweghahn h wird die Verbindung des Luftbehälters einerseits durch das Rohr L mit der Luftpumpe (in der Figur nicht gezeichnet), andererseits durch das Rohr B mit dem als Manometer dienenden Gefässbarometer vermittelt, dessen Theilung von 320 bis 820 mm reicht, und bei welchem ein Nonius Zehntel Millimeter abzulesen gestattet.

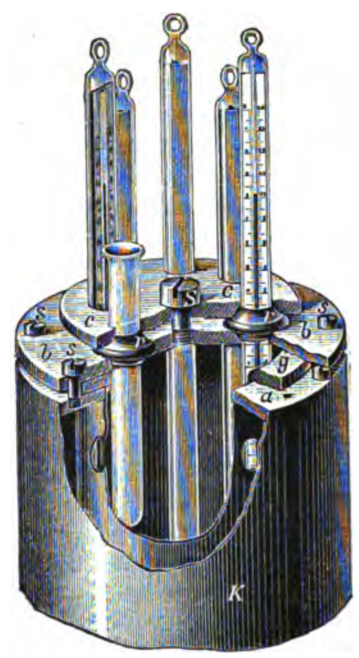


Fig. 215 B. Das obere Ende des Siedekessels mit den Thermometern. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Literatur.

1. Allgemeines.

Ch. Ed. Guillaume: Études thermométriques. Trav. et Mém du Bureau intern. des poids et mesures 1886, T. 5. p. 1 bis 92.

Derselbe: Traité pratique de la thermométrie de précision. Paris, Gauthier-Villars et Fils, 1889.

J. Pernet, W. Jäger, E. Gumlich: Thermometrische Arbeiten betreffend die Herstellung und Untersuchung der Quecksilbernormalthermometer. Wissenschaftliche Abhandlung. der physikalisch-technischen Reichsanstalt 1894, Bd. 1,

und (im Auszuge) Z. f. Instrumentenk. 1895, Jahrg. 15, p. 2, 41, 81, 117. (Höchst wichtige Arbeit für die praktische Herstellung und Prüfung von Thermometern mit folgenden Kapitelüberschriften: I. Einleitung. II. Einfluss des Glases auf die Angaben der Quecksilberthermometer. III. Konstruktion und Herstellung der Thermometer (Fig. 1 bis 3). IV. Untersuchung der Thermometer: 1. Theilung der Thermometer und Bestimmung der Theilungsfehler; 2. die Kalibrirung der Thermometer (Fig. 4); 3. Bestimmung des äusseren und inneren Druckkoëffizienten (Fig. 5, 6 a und b); 4. die Bestimmung des Fundamentalabstandes der Thermometer (Fig. 7, 8 a, b, c, 9 a, b, 10). V. Bestimmung der mittleren scheinbaren Ausdehnung des Quecksilbers zwischen 0° und 100° im Jenaer Glase XVI^III.)

K. Scheel: Ueber die Benutzung der Quecksilberthermometer zu exakten Temperaturmessungen. Vereinsblatt der Deutsch. Ges. für Mechanik und Optik 1897, Nr. 12, p. 91; Nr. 13, p. 98; Nr. 114, p. 105. (Beibl. zur Zeitschrift für Instrk. 1897.)

2. Thermometerglas, Nachwirkung, Fundamentalpunkte und ihre Verschiebung.

F. Allihn: Ueber das Ansteigen des Eispunktes bei Quecksilberthermometern aus Jenaischem Normalglas. Zeitschrift f. analyt. Chemie 1889, Bd. 28, p. 435 und 1890, Bd. 29, p. 381. (Bei gewöhnlichem sogenannten Thüringer Glas ist die Erhebung des Eispunktes nach einem Jahre 0,3° und mehr, bei englischem, bleihaltigem Krystallglas beträgt sie 0,15°, bei der Jenaer Schmelzungsnummer XVI^III 0,01 bis 0,04° nach einem Jahre.)

K. L. Bauer: Mittheilung über einen Apparat zur Bestimmung des Siedepunktes der Thermometer. Annalen der Phys. und Chem. 1886, N. F. Bd. 27, p. 480. (Kurze Notiz über die Anfertigung eines solchen Apparates ganz aus Glas in der Glasbläserei von C. Sickler in Karlsruhe.)

A. Böttcher: Ueber den Gang der Eispunktsdepression. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1888, Jahrg. 8, p. 409.

Ferd. Braun: Ueber die Natur der elastischen Nachwirkung. Ann. d. Phys. und Chem. 1876, Bd. 159, p. 337. (Im Schluss p. 389 ff. allgemeine molekulartheoretische Betrachtungen.)

J. M. Crafts: Sur l'élévation du point zéro dans les thermomètres à mercure. Compt. rend. 1880, T. 91, p. 291 und 1882, T. 94, p. 1298.

Derselbe: Sur quelques questions thermomètriques ib. p. 574.

Derselbe: Sur l'exactitude des mesures faites avec le thermomètre à mercure. Compt. rend. 1882, T. 95, p. 910. (Um das Variiren des Skalenwerthes zu beseitigen, sollen die Thermometer vor der Graduirung und Kalibrirung 10 Tage lang in siedendem Hg erhitzt werden. Das Thermometer soll vor der Benutzung etwas höher erhitzt werden als die Maximaltemperatur liegt, bei der es gebraucht wird.)

Derselbe: Les mesures thermomètriques et la détermination des points de fusion et d'ébullition. Bullet. de la soc. chim. de Paris 1883, T. 39; 1er sem., p. 196 und 277.

C. Despretz: Observations sur le déplacement et sur les oscillations du zéro du thermomètre. Ann. de chim. et de phys. 1837, T. 64, p. 312.

P. N. C. Egen: Untersuchungen über das Thermometer. Annalen d. Physik und Chem. 1827, Bd. 11. p. 335 und 517.

Griffiths: On thermometric „fixed points". Proceed. of the philos. Soc. of Cambridge 1897; 9, p. 224.

W. Hoffmann: Ueber Schott'sche Kompensationsthermometer. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1897, Jahrg. 17, p. 257.

L. Marchis: Sur un thermomètre à zéro invariable. Journal de phys. 1895, T. 4, p. 217.

Derselbe: Sur les déformations permanentes du verre et le déplacement du zéro des thermomètres. Compt. rend. 1896, Vol. 123, p. 799 und 1897; 124, p. 443.

W. Marek: Gegenseitige Relation verschiedener Normalthermometer. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1890, Jahrg. 10, p. 281.

G. Melander: Apparat zur Bestimmung des Siedepunktes an Thermometern. Zeitschrift für Instrumentenk. 1894, Jahrg. 14, p. 139.

J. Pernet: Beiträge zur Thermometrie. Carl's Repert. d. Physik 1875, Bd. 11, p. 257—309.

Derselbe: Ueber die Bestimmung der Fixpunkte der Quecksilberthermometer und die Messungen der Temperaturen. Zeitschrift der österr. Ges. für Meteorologie 1879, Bd. 14, p. 130—138.

Derselbe: Sur les variations des points fixes dans les thermomètres à mercure et sur le moyen d'en tenir compte dans l'évaluation des températures. Compt. rend. 1880, T. 91, p. 471.

Derselbe: Ueber die Abhängigkeit der Nullpunktsdepressionen der Normalthermometer von der Temperatur. Carl's Rep. 9.

Derselbe: Sur les moyens d'éliminer dans l'évaluation des températures l'influence de la variation des points fixes des thermomètres à mercure. Trav. et mém. du Bureau internat. des poids et mesures I. Paris, Gauthier-Villars & Fils, 1881.

L. Pfaundler und H. Platter: Ueber die Wärmekapacität des Wassers in der Nähe seines Dichtigkeitsmaximums. Sitzungsbericht. der Ksl. Akad. der Wiss., 2. Abthlg. 1870, Bd. 62, Seperatabdr., p. 3 ff. (Retardation des Quecksilberfadens).

J. J. Pierre: Ueber den vergleichenden Gang der Quecksilberthermometer aus verschiedenen Glassorten. Ann. der Phys. u. Chem. 1842, Bd. 57, p. 553; im Auszuge aus den Ann. de chim. et de phys., Sér. 3, T. 5, p. 427.

F. Rudberg: Ueber die Konstruktion des Thermometers. Ann. d. Phys. u. Chem. 1837, Bd. 40, p. 39. (Beschreibung des Rudberg'schen Siedeapparates mit Abbildung.)

Rud. Weber: Ueber den Einfluss der Zusammensetzung des Glases auf die Depressionserscheinungen der Thermometer. Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1888, Jahrg. 21, p. 1086, Sitzungsber. d. kgl. preuss. Akad. d. Wiss. z. Berlin 1883, 2, p. 1233. (Entdeckung der Thatsache, dass die Depression von dem Gehalt des Glases an Kali und Natron abhängt.)

H. F. Wiebe: Ueber die Bewegungen der Fundamentalpunkte von Thermometern. Thermometrische Untersuchungen, herausg. von W. Förster, Berlin 1881.

Derselbe: Ueber den Einfluss der Zusammensetzung des Glases auf die Nachwirkungserscheinungen bei Thermometern. Sitzungsber. der k. Akad. der Wiss. zu Berlin 1884, Bd. 36, p. 843. Zusammengefasst in: Zeitschrift f. Instr. 1885, Jahrg. 5, p. 21.

Derselbe: Ueber Thermometerglas, insbesondere über das „Jenaer Normal-Thermometerglas". Zeitschrift f. Instrumentenk. 1886, Jahrg. 6, p. 167.

H. F. Wiebe: Ueber die Standänderungen der Quecksilberthermometer nach Erhitzung auf höhere Temperaturen. Zeitschrift f. Instrumentenk. 1888, Bd. 8, p. 373.

3. Korrektion für den herausragenden Faden.

A. Mahlke: Ueber ein Hülfsinstrument zur Bestimmung der Korrektion für den herausragenden Faden beim Thermometer. Zeitschrift f. Instrumentk. 1893 Jahrg. 13, p. 58.

Derselbe: Ueber einen Thermometervergleichsapparat für Temperaturen zwischen 250 und 600°, und über die Verwendung von Fadenthermometern bei demselben. Zeitschrift f. Instrumentenk. 1894, Jahrg. 14, p. 76.

Ch. Ed. Guillaume: Le problème de la colonne émergente. Séances de la Soc. franç. de phys. 1891, p. 17.

Derselbe: Praktische Lösung des Problems des herausragenden Fadens beim Thermometer unter Anwendung eines Korrektionsrohres. Zeitschrift für Instrk. 1892, Jahag. 12, p. 69.

E. Rimbach: Zur Korrektion der Thermometerablesungen für den herausragenden Faden. Zeitschrift f. Instrumentenkunde 1890, Jahrg. 10, p. 153 und Nachtrag p. 292.

4. Kalibrirung.

Bessel: Methode die Thermometer zu berichtigen. Annalen des Phys. u. Chem. 1826, Bd. 6, p. 287.

A. S. Cole und E. L. Durgan: An example in thermometry. Phys. Rev. 1896, V. 4, p. 217—237. (Die Verf. haben das Wesentlichste der in den Mémoires du bureau intern. des poids et mesures à Breteuil in mehreren Bänden angegebenen Verfahren und Regeln ein Thermometer zu kalibriren und seine Fehler zu bestimmen, übersichtlich zusammengestellt und durch ein Beispiel erläutert.)

P. N. C. Egen: Untersuchungen über das Thermometer. Annal. d. Phys. u. Chem. 1827, Bd. 11, p. 278, und Nachtrag 1828, Bd. 13, p. 41.

Hällström: Anmärkningar angående termometerns fårfardigande och bruk. Akad. Dissert. Åbo 1825.

D. Al. Handl: Einfaches Verfahren zur Berechnung der Kaliberfehler eines engen Rohres. Carl's Rep. 1881, 17, p. 295. (Abgeänderte Hällström'sche Methode.)

Lilas W. Holman: Simple Method for Calibrating thermometers. Americ. Journ. of Sc. 1882 (3) Vol. 23, p. 278.

Derselbe: Method for calibration of a thermometer at many points. Technol. Quarterly. 1888, Vol. 1, No. 1.

O. Majorana: Calibrazione grafica dei tubi termometrici. Rendiconti R. Acc. di Roma 1895, Vol. 4, p. 97.

M. Thiesen: Kalibriren von Thermometern. Carl's Repertorium 1879, Bd. 15, p. 285.

F. Rudberg: Ueber die Konstruktion des Thermometers. Annal. d. Phys. u. Chem. 1837, Bd. 40, p. 562.

T. Russel: Neumann's Method of calibrating thermometers, with ways of getting columns for calibration. Silliman Journal. 1881 (3), Vol. 21, p. 373.

R. Stolzenburg: Das Quecksilberthermometer und seine Kalibrirung. Jahresber. über die Oberrealschule in Kiel 1884/85.

5. Skala.

O. Bock: Ein neues Thermometer mit angeschmolzener Glasskala. Zeitschrift f. Instrumentenk. 1893, Jahrg. 13, p. 95.

L. Calderon: Ueber die Bestimmung des Werthes der Grade bei Thermometern mit gebrochener Skala. Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1888, Jahrg. 21, p. 3303.

H. F. Wiebe: Ueber die Veränderlichkeit der Papierskalen. Zeitschrift f. Instrumentenkunde 1885, Jahrg. 5, p. 304.

6. Amtliche Prüfung und Vergleichung.

Bestimmungen der physikalisch-technischen Reichsanstalt zu Charlottenburg für die Prüfung und Beglaubigung von Thermometern vom 9. Oktober 1888. Zeitschr. f. Instrk. 1889, Jahrg. 9, p. 25 und 1898, Jahrg. 18, p. 76.

J. M. Crafts: Sur la comparaison des thermomètres à mercure avec le thermomètre à hydrogène. Compt. rend. 1882, T. 95, p. 836.

E. Gumlich und K. Scheel: Vergleichung zwischen Stab- und Einschlussthermometern aus gleichen Glassorten. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1897, Jahrg. 17, p. 353.

J. Hartmann: Ueber die Empfindlichkeit der Thermometer in Flüssigkeiten. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1897, Jahrg. 17, p. 131.

A. Mahlke: Ein Thermostat für Temperaturen zwischen 50 und 300 Grad. Zeitschrift f. Instrk. 1893, Jahrg. 13, p. 197 mit Abbildung.

W. Pomplun: Vergleichung von Thermometern in Temperaturen über 50°. Zeitschr. f. Instrk. 1891, Jahrg. 11, p. 1.

K. Scheel: Tafeln zur Reduktion der Ablesungen an Quecksilberthermometern aus verre dur und den Jenaer Gläsern 16^{III} und 59^{III} auf die Wasserstoffskala. Zeitschr. f. Glasinstr.-Industrie 1896, 5, p. 45 und Annalen der Physik und Chem. 1896, N. F. Bd. 58, p. 168.

P. Schreiber: Vergleichsapparat für Thermometer. Zeitschrift f. Instrk. 1886, Jahrg. 6, p. 122.

Derselbe: Zur Prüfung von Thermometern unter dem Eispunkt. Daselbst 1888, Jahrg. 98, p. 206.

M. Thiesen: Vergleichungen von Quecksilberthermometern. Thermometrische Untersuchungen herausg. von W. Förster, Berlin 1881.

Derselbe, K. Scheel, L, Sell: Thermometrische Arbeiten betreffend die Vergleichungen von Quecksilberthermometern untereinander. Wissensch. Abh. d. phys.-techn. Reichsanstalt 1895, 2, p. 1—72, auch Zeitschrift f. Instrk. 1895, Jahrg. 15, p. 433.

B. Walter: Thermometrische Mittheilungen. 1. Ein Gefäss zur Vergleichung von Thermometern bei beliebigen Temperaturen. 2. Eine Fehlerquelle bei Quecksilberthermometern. Zeitschrift f. Instrk. 1892, Jahrg. 12, p. 342 u. 346.

W. Watson: An Instrument for the comparison Thermometers. Phil. Mag. 1897, Vol. 44, p. 116.

H. F. Wiebe: Die amtliche Prüfung von Thermometern. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1886, Jahrg. 6, p. 22.

Derselbe: Weitere Vergleichungen von Quecksilberthermometern aus verschiedenen Glassorten zwischen 0 und 100°. Zeitschrift für Instrumentenk. 1890, Jahrg. 10, p. 435.

b) Thermometer, in welchen Quecksilber mit einer Gasart kombinirt ist, oder in denen eine flüssige Metalllegirung die thermometrische Substanz bildet, zur Messung hoher Temperaturen geeignet.

Die gewöhnlichen Quecksilberthermometer können nur zur Messung von Temperaturen gebraucht werden, welche zwischen dem Gefrierpunkte des Quecksilbers — 39,4° C. (Cavendish) und dem Siedepunkte desselben liegen. Hierbei ist jedoch zu bemerken, dass die Angaben des Instrumentes schon in der Nähe des Gefrierpunktes ungenau werden, und dass nicht der normale Siedepunkt des Quecksilbers, welcher je nach dem Barometerstande von 720 bis 760 mm zwischen 354,3 und 357,25° C. liegt, in Betracht kommen kann; denn im Thermometer geräth das Quecksilber, weil der über ihm befindliche Raum der Röhre luftleer ist, schon von + 270° C. an ins Sieden. Um Quecksilberthermometer auch für höhere Temperaturen brauchbar zu machen, hat H. F. Wiebe, nach dem Verfahren von Person, den Raum der Kapillarröhre über dem Quecksilber mit einem, auf dieses chemisch nicht einwirkenden Gase, nämlich mit Stickstoff, gefüllt. Das Gas wird durch das emporsteigende Quecksilber zusammengedrückt und verhindert dann durch seinen Druck das Sieden des Metalles. Um beim Ansteigen des Quecksilbers keinen zu grossen Druck des Stickstoffes zu erhalten, wird das obere Ende der Kapillare mit einer Erweiterung versehen. Bei längerer Einwirkung hoher Temperatur erfährt auch das Quecksilber-Stickstoffthermometer eine Erhebung des Eispunktes, doch erreicht dieselbe bei + 450° C., wobei der Druck des eingeschlossenen Stickstoffes ca. 4,5 At. betragen muss, ein Maximum, so dass das Instrument bei dieser Temperatur noch brauchbar ist.

Quecksilber-Stickstoff-thermometer von Wiebe.

Für Einschlussthermometer muss statt einer Skala aus gewöhnlichem Milchglas eine solche aus schwer schmelzbarem Emailglas oder Spiegelglas angefertigt werden, da erstere bei hohen Temperaturen erweicht. Durch Anfertigung der Thermometer aus Jenaer Borosilikatglas Nr. 59 III ist es O. Schott gelungen, die Instrumente noch bis + 550° C., ohne dass Erweichung des Glases eintritt, brauchbar zu machen, trotzdem der innere Druck dann bis 25 At. betragen muss, um das Sieden des Quecksilbers zu verhindern.

Das Borosilikatglas Nr. 59 III hat folgende prozentische Zusammensetzung: Natron 11,0; Thonerde 5,0; Borsäure 12,0; Manganoxyd 0,05; Kieselsäure 71,95.

An Stelle der Stickstofffüllung wurde wegen der umständlichen dazu erforderlichen Anwendung von Druckpumpen in der physikalisch-technischen Reichsanstalt eine zuerst von Mahlke angegebene Füllung

Quecksilber-Kohlensäure-thermometer.

mit gasförmiger, trockener Kohlensäure vorgenommen. Die käufliche, bei Zimmertemperatur eine Spannung von 50 – 60 At. besitzende Kohlensäure lässt man aus der Bombe (Fig. 216 *K*) durch eine starke Metallkapillare in den Recipienten *R* eintreten, um den Druck entsprechend zu verringern. Der Recipient besteht aus einer Metallbüchse, die durch den Hahn H_1 von den folgenden Theilen des Apparates abgeschlossen ist. Das mit dem Recipienten verbundene Metallrohr, welches den Hahn H_1 enthält, trägt zugleich ein Manometer *M*. Dann folgt das U-förmige

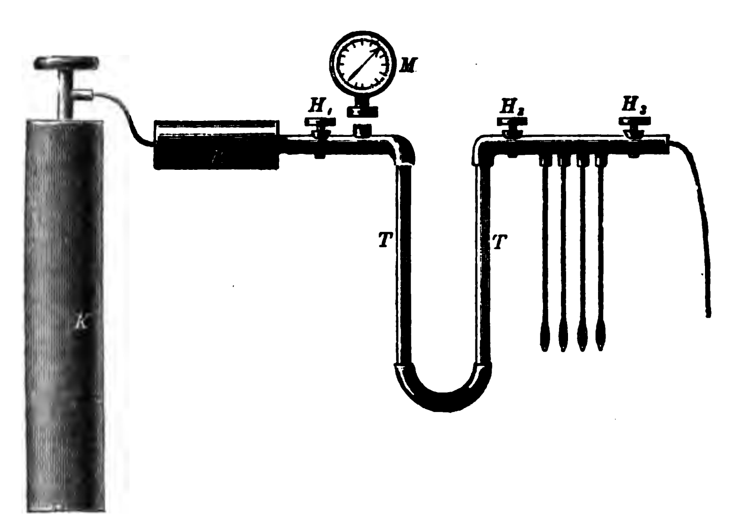


Fig. 216. Füllung von Quecksilberthermometern mit Kohlensäure unter Druck, nach dem Verfahren von A. Mahlke. *K* Kohlensäurebombe, *R* Recipient, H_1 bis H_3 Hahnvorrichtungen, *M* Manometer, *T* Trockenrohr.

Trockenrohr *T*, bestehend aus zwei starkwandigen Glasröhren und einer gebogenen, beide verbindenden Metallröhre. — An die Trockenvorrichtung schliesst sich ein mit den Hähnen H_2 und H_3 versehenes, und in eine Kapillare auslaufendes Rohr, welches in kleinen Ansatzhülsen die zu füllenden Thermometer trägt.

Um den Apparat in Thätigkeit zu setzen, öffnet man das Ventil der Bombe, schliesst es aber sofort wieder, damit nur wenig Kohlensäure in den Recipienten eintrete. Darauf öffnet man alle Hähne und lässt die Kohlensäure durch die Kapillare ausströmen. Man wiederholt den Vorgang mehrere Male, um alle Luft aus dem Apparate zu verdrängen. Um auch die in den Thermometerkapillaren enthaltene Luft zu entfernen, werden zunächst die Hähne H_3 und H_1 geschlossen. Unter wiederholtem schnellen Oeffnen und Schliessen der

Bombe füllt man alsdann den Recipienten mit Kohlensäure von grösserer Spannung. Nun öffnet man den Hahn H_1 und überträgt dadurch die Kohlensäure wieder auf die übrigen Theile des Apparates, wobei aber das Manometer nur etwa 10 At. anzeigen darf. Durch diesen Druck dringt die Kohlensäure in die Thermometerkapillaren ein, wo sie sich mit der darin befindlichen Luft mischt. Schliesst man nun den Hahn H_2 und öffnet den Hahn H_3, so strömt das Kohlensäureluftgemisch aus. Durch sechs- bis zehnmalige Wiederholung des Vorganges wird alle Luft aus den Thermometern durch die trockene Kohlensäure verdrängt. Zum Schluss giebt man der Kohlensäure soviel Druck, dass das Manometer 17—20 At. anzeigt, schliesst dann die Kapillare der Thermometer zunächst durch Erwärmen eines über der Oeffnung der Kapillare in die obere Erweiterung eingebrachten Stückchens Schellack und schmilzt sie dann oberhalb dieses provisorischen Verschlusses später zu. (Zu vergl. O. Schott a. a. O., p. 332 und Mahlke's Arbeit in den Annalen, p. 974.)

M. von Recklinghausen hat solche Quecksilber-Kohlensäurethermometer auf ihre Verwendbarkeit für Siedepunktsbestimmungen im chemischen Laboratorium geprüft und befriedigende Ergebnisse erzielt.

Leider hat sich jedoch das soeben beschriebene einfache Verfahren, bei welchem man die wohlfeile, überall vorräthige CO_2 verwenden kann, nicht bewährt, da es einmal ungemein schwierig ist, das stets sehr feuchte Gas genügend zu trocknen, und da ferner das Quecksilber der mit trockener CO_2 gefüllten Thermometer bei längerem Gebrauche Ausscheidungen zeigt, welche die weitere Brauchbarkeit stark beeinträchtigen. Man ist deshalb vielfach zur Verwendung komprimirten Stickstoffes übergegangen und hat damit gute Resultate erzielt.

Zur Fortsetzung der Temperaturskala über den Siedepunkt des Quecksilbers hinaus und zur Untersuchung und Vergleichung hochgradiger, bis 550° reichender Quecksilber-Gasthermometer findet der bereits erwähnte, mit einigen Abänderungen versehene, in der Werkstatt der Reichsanstalt gebaute Thermostat Verwendung. Derselbe wird für den genannten Zweck mit einer Mischung von Kalisalpeter (54 %) und Natronsalpeter (46 %) gefüllt. Die Mischung schmilzt bei etwa + 230° C. und liefert für Temperaturen bis über 600° ein brauchbares Bad.

Die Erhitzung der Thermometer auf 550° C. vor ihrer Füllung unter Druck kann einen Anstieg bis zu 10° bewirken. Nach der Füllung unter Druck erfolgt dann bei der Erhitzung noch ein weiterer Anstieg von etwa 3°. Letzterer ist noch um ungefähr 1° grösser als die durch die Druckfüllung im Stande der Thermometer hervorgerufene Depression, die bei 20 At. durchschnittlich 2° beträgt. Interessant ist es, dass zwischen den vor und nach der Füllung unter Druck vorgenommenen Gradwerthbestimmungen kein prinzipieller Unterschied vorhanden ist, so dass angenommen werden muss, dass Quecksilber in seiner Ausdehnung von Drucken bis zu 24 At. in erheblichem Grade nicht beeinflusst wird. Doch

muss dabei mit der, durch den Druck erzeugten Erweiterung des Thermometergefässes gerechnet werden.

Für bequemere (handlichere) Messungen mit hochgradigen Thermometern richtet man die Skala für kleinere Temperaturintervalle ein. Uebrigens gestaltet sich die Anfertigung der Skala verschieden, je nachdem das Instrument mit völlig in das zu messende Temperaturbad eintauchendem, oder mit herausragendem Faden benutzt werden soll.

Behufs näherer Orientirung hierüber verweisen wir auf die Angaben A. Mahlke's in der Zeitschrift f. Instrk. 1895, Jahrg. 15, p. 172 und 178. Das von A. Mahlke abgeänderte Guillaume'sche Fadenthermometer hat sich auch beim Gebrauche hochgradiger Quecksilberthermometer zur Bestimmung der Korrektion für den herausragenden Faden bis auf Zehntel-Grade bewährt.

Thermometer mit Kalium-Natriumlegirung.

Ausser den Quecksilber-Gasthermometern ist zur Messung hoher Temperaturen neuerdings durch E. C. Baly und J. C. Chorley ein Thermometer mit einer Kalium-Natriumlegirung beschrieben worden (zu beziehen von der Firma Baird & Tatlock in London zum Preise von 40 M.)

Die Legirung schmilzt bei — 8° C. und siedet bei + 700° C. Der Raum über der Legirung ist luftleer oder mit reinem Stickstoff gefüllt, dessen Druck, wenn das Glas zu glühen beginnt, gerade dem Atmosphärendruck entspricht, so dass Gestaltsveränderungen des Glases nicht eintreten. Schon früher wurden derartige Instrumente von W. Hempel hergestellt.

Untersuchungen, welche die physikalisch-technische Reichsanstalt mit solchen Thermometern aus Jenaer Glas vornahm, haben jedoch ergeben, dass die Legirung schon bei + 300° C. das Glas angreift, wobei sich dasselbe, wahrscheinlich durch Ausscheidung von Silicium, schwarzfärbt. (Zu vergl. d. 5. Bericht über die Thätigkeit der Reichsanstalt in d. Zeitschrift f. Instrk. 1894. Jahrg. 14. p. 305.) Somit haben sich die auf diese Thermometer gesetzten Hoffnungen nicht erfüllt.

Literatur:

E. C. Baly und J. C. Chorley: Ein neues Thermometer für höhere Temperaturen. Berichte der deutsch. chem. Ges. 1894, Jahrg. 27, p. 470.

A. Mahlke: Verwendung der flüssigen Kohlensäure zur Herstellung hochgradiger Quecksilberthermometer. Zeitschrift f. Instrumentenkunde 1892, Jahrg. 12, p. 402.

Derselbe: Ueber die Messung von Temperaturen bis 550° mittels Quecksilberthermometer. Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1893, Jahrg. 26, p. 1815.

Derselbe: Ueber einen Thermometervergleichsapparat für Temperaturen zwischen 250° und 600° und über die Verwendung von Fadenthermometern bei demselben. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1894, Jahrg. 14, p. 73 (mit Abbildung, welche den Apparat von Liechtenstein's darstellt).

A. Mahlke: Ueber die Beziehung hochgradiger Quecksilberthermometer aus Jenaer Glas 59^{III} auf das Luftthermometer zwischen 300° und 500°. Annalen der Physik und Chemie 1894, N. F. Bd. 53, p. 965.

Derselbe: Ueber die Bestimmung der Skala von hochgradigen Quecksilberthermometern aus Jenaer Borosilicatglas 59^{III}. Zeitschrift f. Instrumentenk. 1895, Jahrg. 15, p. 171 (mit Abbildung).

W. Niehls: Verbessertes Quecksilberthermometer für hohe Temperaturen. Chemiker-Zeitung. Repert. 1894, p. 193 und Journ. Amer. Chem. Soc. 1894, Vol. 16, p. 396.

M. von Recklinghausen: Ueber das neue Quecksilberthermometer für Temperaturen bis 550° C. Berichte d. deutsch. chem. Ges. 1893, Jahrg. 26, p. 1514.

O. Schott: Studium einiger physikalischer Eigenschaften von Gläsern und über ein neues werthvolles Glas für die Thermometrie. Zeitschrift f. Instrk. 1890, Jahrg. 10, p. 330.

H. F. Wiebe: Ueber die Verwendung des Quecksilberthermometers bei hohen Temperaturen. Zeitschrift f. Instrumentenk. 1890, Jahrg. 10, p. 207.

Derselbe: Ueber Kaliumnatriumthermometer. Zeitschrift d. Glasinstrum.-Industrie 1894, 4, p. 1.

c) Thermometer, in denen Alkohol, Toluol, Schwefelsäure oder Petroläther die thermometrische Substanz bildet, zur Messung tiefer Temperaturen geeignet.

Hier kommt zunächst in Betracht:

Alkoholthermometer.

α) Das Alkohol- (Weingeist-) Thermometer. Dasselbe findet namentlich zur Bestimmung von Temperaturen unter — 39° C. Anwendung, bei denen das Quecksilber erstarren würde, während der Alkohol erst bei — 100° zähflüssig wird.

Bei — 195° (im Bade flüssiger Luft) bildet Alkohol eine syrupdicke Masse, während Aether und Schwefelkohlenstoff, die auch als thermometrische Substanz für tiefe Temperaturen Verwendung finden können, fest werden. Ein Thermometer mit Schwefelkohlenstofffüllung wurde von Pleischl angegeben.

Adolf Martin Pleischl, geb. 10. Okt. 1787 in Hossenreith (Böhmen), Prof. der pharm. Chem. u. Phys. in Prag, seit 1821 u. Wien, seit 1838; 1848 unverdienter Maassen zur Disposition gestellt; gest. 31. Juli 1867 in Dorf an der Enns.

Zur Messung höherer Temperaturen ist das Instrument dagegen ungeeignet, da Alkohol schon bei + 78,5° C. siedet und auch vorher bereits leicht in den oberen Theil der Kapillare destillirt. Die Kapillarröhre wird weiter (bis $^1/_2$ mm) als die für Quecksilberthermometer gewählt, da sich der Alkohol stärker ausdehnt und man den Faden, falls der Alkohol nicht künstlich gefärbt wird, schwer sehen würde.

Bei der Anfertigung von Alkoholthermometern verfährt man anders wie beim Quecksilberthermometer. Da Alkohol sehr ungleiche Ausdehnung besitzt, so lässt sich bei dem Alkoholthermometer, falls es mit dem Quecksilberthermometer übereinstimmen soll, die bei dem letzteren besprochene Justirungs- und Eintheilungsweise nicht anwenden, sondern es muss bei der Eintheilung ein Normalthermometer zu Grunde gelegt werden (zu vergl. die im Literaturverzeichniss

citirte Arbeit von A. Angot). Im Allgemeinen sind Thermometer mit gefärbtem Alkohol weniger als diejenigen zu empfehlen, in denen er in ungefärbtem Zustande enthalten ist, da sich der Farbstoff bei tiefen Temperaturen abscheidet und beim Sinken des Fadens an der Wand der Kapillare haftet.

Zur Prüfung der Alkoholthermometer werden bis zu — 33° Gemische von geschabtem Eis mit krystallisirtem Chlorcalium oder Chlornatrium, für noch tiefere Temperaturen feste Kohlensäure mit verschiedenen Alkoholäthergemischen gebraucht.

Nach den Untersuchungen von P. Chappuis sind die Abweichungen der einzelnen Alkoholthermometer unter sich sehr beträchtlich und es lässt sich, namentlich wegen des schwankenden Wassergehaltes des Alkohols, eine einigermaassen befriedigende Uebereinstimmung nur schwer erreichen.

Toluolthermometer.

β) Toluolthermometer. Zur Messung tiefer Temperaturen eignen sich auch Thermometer mit Toluolfüllung.

Toluol findet sich im Steinkohlentheeröl und lässt sich auch durch trockene Destillation des Tolubalsams, einem Harze des südamerikanischen Baumes Toluifera Balsamum L., Tolubalsambaum (nach Tolu am Magdalenenstrome benannt) Fam. der Papilionaceen gewinnen. Es ist eine farblose, stark lichtbrechende Flüssigkeit, welche nach J. Schiff bei 111° C. siedet (vergl. auch C. Mirus, Chemikerzeitung 1894, p. 331). Der Gefrierpunkt liegt unter —100° C.

Der Umstand, dass der Ausdehnungskoëffizient des Toluols fünfmal grösser ist als der des Quecksilbers, gestattet die Anwendung eines kleineren Flüssigkeitsbehälters und einer weiteren Kapillarröhre, wodurch die Ablesung des Toluolthermometers an Deutlichkeit gewinnt und die Temperaturempfindlichkeit vermehrt wird, wenn auch das Wärmeleitungsvermögen des Toluols etwa 60mal geringer als das des Quecksilbers ist (J. Meyerhofer in: Vierteljahrsschrift für Chemie der Nahrungs- und Genussmittel, 1894, Jahrg. 9, p. 147), und das Toluol eine bestimmte Temperatur dementsprechend langsamer als ein gleiches Volumen Quecksilber annimmt. Bei der Wahl des Toluols als thermometrische Substanz ist es vor allem wichtig, es völlig rein, namentlich wasserfrei, anzuwenden. Um den Flüssigkeitsfaden leicht erkennbar zu machen, wird das Toluol meistens blau oder braun gefärbt. Doch gilt auch hier das von dem Färben des Weingeistes Gesagte. Acht von G. Chappuis mit einander verglichene Toluolthermometer stimmten bis auf einige Hundertstel Grad unter sich überein.

Die Einrichtung des Toluolthermometers ist derartig beschaffen, dass die Fundamentalpunkte wie bei gewöhnlichen Thermometern bestimmt werden können. Da der Hauptabschnitt der Skala jedoch

unter Null liegt, so wird der grösste Theil der Strecke zwischen den beiden Fundamentalpunkten durch eine Erweiterung eingenommen.

Schwefelsäurethermometer.

γ) Schwefelsäurethermometer. Auch verdünnte, 36—40-prozentige Schwefelsäure ist als Füllmaterial für tiefgradige Thermometer vorgeschlagen worden (v. Lupin). Die Säure lässt bis + 70° C. kein Wasser abdunsten und erstarrt erst bei etwa — 80° C. (zu vergl. die cit. Arbeit von W. Donle).

Petrolätherthermometer.

δ) Petrolätherthermometer. Das neueste Flüssigkeitsthermometer für tiefe Temperaturen wurde von F. Kohlrausch empfohlen. Die thermometrische Substanz der Versuchsinstrumente war Petroläther aus dem Laboratorium von Bender und Hobein in München. Der Siedepunkt des Präparates liegt bei + 33° C., sein spezifisches Gewicht beträgt bei + 17° C. 0,6515. Das Instrument ist bis in die Nähe des Siedepunktes der flüssigen Luft (— 190° C.) brauchbar, hier wird jedoch der Petroläther dickflüssig. Bei der Herstellung des Instrumentes dienen als Temperaturbäder ausser Eis und gewöhnlichen Wasserbädern, die siedende Luft, sowie die mit Alkohol gemischte siedende Kohlensäure (— 80° C.), welches Gemisch bis — 30° durch Zusetzen von Weingeist sich verwenden lässt.

Um das Abdestilliren der Flüssigkeit in die Kapillare zu vermeiden, wird das obere Ende der Röhre mit feuchtem Fliesspapier umgeben. Mit sinkender Temperatur erfolgt eine interessante Volumänderung des Petroläthers. Die Gesammtkontraktion bis — 188° C. beträgt 4/5 von dem Volumen bei 0° und 3/4 von demjenigen bei + 30°.

Literatur:

A. Angot: Sur la graduation des thermomètres à alcool. Journ. de physique 1891 (2), T. 10, p. 399.

P. Chappuis: Sur les thermomètres destinés à la mesure des basses températures. Arch. des Sc. phys. et nat. Genève 1892 (3), T. 28, p. 293.

W. Donle: Ueber einige bemerkenswerthe Eigenschaften von Schwefelsäurethermometern. Zeitschrift f. Instrumentenk. 1893, Jahrg. 13, p. 238.

F. Kohlrausch: Ueber ein Thermometer für sehr tiefe Temperaturen und über die Wärmeausdehnung des Petroläthers. Annal. der Phys. u. Chem. 1897, N. F. Bd. 60, p. 463.

C. Mirus: Der Werth der Toluolthermometer. Chemiker-Zeitung 1894, Jahrg. 18, p. 331.

A. M. Pleischl: Ein neues Thermometer, oder richtiger bezeichnet, Kryometer. Annalen der Physik und Chemie 1844, Bd. 13, p. 115.

W. Thomson: On a realised sulphurous acid steam-pressure differential thermometer. Proc. R. S. Edinb. 1880, V. 10, p. 532. (Für Temperaturen von etwa + 10 bis —30° geeignet.)

H. F. Wiebe: Ueber die amtliche Prüfung von Thermometern. Zeitschrift für analyt. Chemie 1891, Bd. 30, p. 1. (Mit einer Figur im Text, einen Siedeapparat darstellend.)

Metastatische Thermometer.

François Hippolyte Walferdin, geb. 8. Juni 1795 in Langres (Haute-Marne), Chef aux douanes et directeur du matérial des finances, später Privatmann in Paris, gest. 25. Jan. 1880 in Paris.

d) Metastatische Thermometer. Diese Instrumente, welche zuerst von F. H. Walferdin angefertigt wurden, sind derartig eingerichtet, dass sich das Niveau des darin enthaltenen Quecksilberfadens beliebig verändern lässt, wie der Ausdruck metastatisch (gr. μετάστατος von μεθ-ίστημι an einen anderen Platz bringen, verstellen, verschieben) besagt. Der Durchmesser der Kapillare ist im Vergleiche zu dem des Behälters klein. Damit aber hierdurch das Instrument nicht länger als ein gewöhnliches Thermometer werde, mündet das obere Ende der Kapillare in eine Kammer, welche zur Aufnahme einer gewissen Menge Quecksilber dient, die von der in der Kapillare befindlichen abgetrennt wird.

Um die Abtrennung zu ermöglichen, erwärmt man den Behälter bis das Quecksilber in die obere Kammer getreten ist und erschüttert darauf das Instrument in geeigneter Weise. Man lässt soviel Quecksilber in die Kammer steigen, dass der abgetrennte Faden bei der etwa zu erwartenden Temperatur in der Mitte der Kapillare steht.

Behufs Anfertigung der Skala vergleicht man das Instrument mit einem Normalthermometer. Will man das in der Kammer befindliche Quecksilber wieder daraus entfernen, so erwärmt man den Behälter, bis der Faden die Kammer erreicht und lässt dann allmählich abkühlen, wobei sich die Kammer entleert, indem sich das Quecksilber derselben wieder mit dem Faden vereinigt. Die Kapillare der metastatischen Thermometer ist so eng, dass ein Grad etwa 10 cm umfasst, so dass $\frac{1}{100}{}^0$ noch 1 mm lang ist und die Bestimmung kleiner Temperaturunterschiede also eine sehr genaue wird.

Walferdin hat auch metastatische Alkoholthermometer angefertigt, in denen ein Tröpfchen Quecksilber die Rolle eines Zeigers spielt. Die Kammer der Kapillare trägt eine kleine, bei vertikaler Stellung des Instrumentes nach abwärts gerichtete Ausbauchung, in welcher das Quecksilbertröpfchen beliebig zurückgehalten werden kann. In die Kapillare gelangt, sinkt und steigt es mit der Zusammenziehung und Ausdehnung des Alkohols. Dem Alkoholbehälter kann die verschiedenste Form gegeben werden. Um Temperaturunterschiede ebener Flächen zu messen, erhält auch der Behälter zum Aufsetzen auf dieselben eine ebene Bodenfläche. Becherförmig gestaltet, kann der Behälter bei U-förmig gebogener Kapillare zur Aufnahme geringer Mengen gepulverter oder flüssiger Stoffe dienen, an denen Temperaturänderungen gemessen werden sollen. Auch rinnenförmig lässt sich der Behälter anfertigen, so dass er sich einer Röhre, dieselbe umklammernd, anschmiegen kann.

Neuerdings finden metastatische Quecksilberthermometer namentlich bei den Beckmann'schen Apparaten zur Bestimmung des Siedepunktes (zu vergl. Bd. I, p. 843 und 844) und Gefrierpunktes (zu vergl. Bd. I, p. 847 von Lösungen Verwendung. Die Quecksilberkammer am oberen Ende der Kapillare ist wesentlich verbessert.

Die Kapillare geht mit einer bogenförmigen Krümmung in die Kammer über (Bd. I, p. 847, Fig. 173c). Letztere läuft, um die Füllung des Thermometers leichter zu bewerkstelligen, wieder in eine nach oben geführte Kapillare aus.

Nach Scheurer-Kestner bedarf die Ablesung der metastatischen Thermometer einer Korrektion, weil der Gradwerth dadurch etwas geändert wird, dass die Quecksilbermenge im Thermometer wechselt. Bedeutet γ die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers im Glase ($\gamma = 0{,}000\,1544$), a die in Graden ausgedrückte Quecksilbermenge, welche in die Kammer gebracht wurde und n die abgelesene Temperaturdifferenz, unter der Voraussetzung, dass sich bei 0° die ganze Quecksilbermenge im unteren Behälter befindet und der Gradwerth dann richtig ist, so ist die Ablesung um die Grösse $na\gamma$ fehlerhaft.

Ein übersichtliches Referat über metastatische Thermometer hat Fr. Grützmacher gegeben.

Literatur:

C. von Bauernfeind: Neue Untersuchungen über terrestrische Refraktion. Generalbericht der Europ. Gradmessung für das Jahr 1883. Anhang VII, Berlin, G. Reimer 1884. Ref. Zeitschrift f. Instrumentenk. 1884, 4. Jahrg., p. 350. (Metastische Thermometer nach C. Fearnley.)

S. N. Pickering: On delicate calorimetric thermometers. Philos. Mag. 1886 (5), Vol. 21, p. 330.

J. C. Poggendorff: Ueber die Einrichtung der Thermometer des Herrn Walferdin. Annal. d. Phys. u. Chem. 1842, Bd. 57, p. 541 mit Taf. 3, Figg. 8—15.

Fr. Grützmacher: Ueber Thermometer mit variabler Quecksilberfüllung. Zeitschrift f. Instrk. 1896, Jahrg. 16, p. 171 und Nachtrag p. 200.

Scheurer-Kestner: Correction à apporter aux lectures des thermomètres métastatiques. Compt. rend. 1895, T. 121, p. 553.

R. Wegscheider: Ueber Prof. S. Pickering's empfindliche Thermometer für calorimetrische Untersuchungen. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1886 6. Jahrg., p. 266.

e) Maximum- und Minimumthermometer. In vielen Fällen ist es wünschenswerth eine Kenntniss von der höchsten und niedrigsten Temperatur zu erhalten, welche innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes geherrscht hat. Instrumente, welche diese Kenntniss vermitteln, werden Maximum- und Minimumthermometer, Thermometrographen oder selbstregistrirende Thermometer genannt. Ein vielfach angewandtes Instrument dieser Art wurde von Rutherford erfunden. Es besteht aus zwei, an einem Gestell befestigten, horizontal, und mit ihren Behältern entgegengesetzt liegenden Thermometern (Fig. 217), von denen $A\ B$ mit Quecksilber, CD mit Alkohol gefüllt ist. Vor dem Quecksilberfaden befindet sich ein Stahlstäbchen s. Bei steigender Temperatur treibt die sich ausdehnende metallische Flüssigkeit dieses Stäbchen vor sich her, bei fallender Temperatur dagegen bleibt letzteres an dem erreichten Orte liegen. Das der Fadenkuppe zugewendete Ende des Stäbchens zeigt somit

Rutherford's Maximum- u. Minimum-thermometer.

das Maximum der Temperatur an. In der Kapillare des Alkoholthermometers befindet sich ein durch Adhäsion in der Flüssigkeit festgehaltenes, an seinen Enden kugelig gestaltetes Stäbchen aus Glas oder Email (Fig. 217 *C D*, *g*). Wenn sich der Alkohol bei sinkender Temperatur zusammenzieht, so nimmt er diesen Zeiger mit sich. Dehnt sich aber der Alkohol bei steigender Temperatur aus, so bewegt er sich an den Seiten des Zeigers vorbei, während dieser dort liegen bleibt, wo der Alkohol seinen tiefsten Stand inne hatte. Das Temperaturminimum wird also von dem, gegen den geschlossenen Theil der Kapillare gerichteten Zeigerende angegeben. Damit die Stifte sich nicht von der in Betracht kommenden Stelle verschieben, ist es erforderlich, dass die beiden Thermometer die horizontale Lage

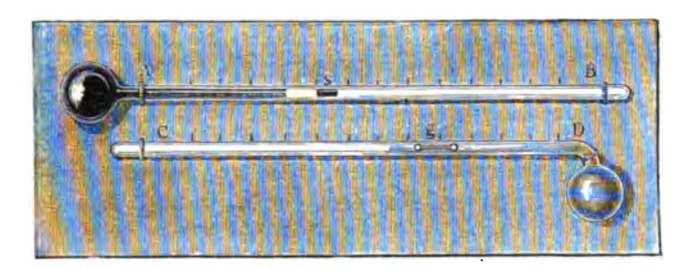


Fig. 217. **Rutherford's Maximum- und Minimumthermometer.**

genau einhalten. Nach beendeter Beobachtung wird das Gestell, an welchem die Instrumente befestigt sind, derartig in die vertikale Lage gebracht, dass der Behälter des Quecksilberthermometers unten liegt. Der Stahlstift fällt dann auf die Oberfläche des Quecksilberfadens und der Stift im Alkoholfaden sinkt bis zu dessen Oberfläche herab. Nachdem man den Zeigern auf diese Weise die richtige Anordnung wiedergegeben hat, bringt man den ganzen Apparat in die horizontale Lage zurück.

Negretti's Thermometer. Enrico Angelo Ludovico Negretti, geb. 1817 in Como, gründete 1829 eine mechanische Werkstätte (Firma Negretti u. Zambra) in London; gest. 24 Sept. 1879 in Cricklewood, Middlesex. (Times v. 29. Sept. 1879 p. 11; Nature 1879, Vol. 20, p. 542.)

Dem Maximumthermometer hat H. Negretti eine andere Einrichtung gegeben. Die Kapillarröhre ist dicht über dem Quecksilberbehälter rechtwinkelig umgebogen und verengt. In der Verengerung ist ein Glassplitter befestigt. Hierdurch wird zwar dem Quecksilber gestattet bei steigender Temperatur sich ungehindert vorwärts zu bewegen, wenn es sich jedoch bei sinkender Temperatur zusammenzieht, reisst der Faden in der Verengerung ab. Bei waagerechter Lage des Instrumentes zeigt das von der Verengerung abgewendete Ende des abgerissenen Fadenstückes das stattgehabte Temperaturmaximum an.

Die Vereinigung des Quecksilbers nach der Beobachtung erfolgt durch Neigen oder geeignete Erschütterungen des Instrumentes. Die genannten Thermometer sind mit mancherlei Mängeln behaftet, die hauptsächlich dadurch hervorgerufen werden, dass sich der Stahlstift im Quecksilberthermometer, beziehungsweise das abgerissene Fadenstück desselben bei nicht völlig horizontaler Lage der Instrumente oder durch zufällige Erschütterungen derselben verschiebt, und dass sich in dem geschlossenen Ende der Kapillare des Thermometers, welches mit Alkohol gefüllt ist, etwas von diesem ansammelt.

James Six, geb. wo u. wann? Privatmann in Canterbury, gest. 25. Aug. 1793 wo? **Maximum- u. Minimumthermometer von Six.**

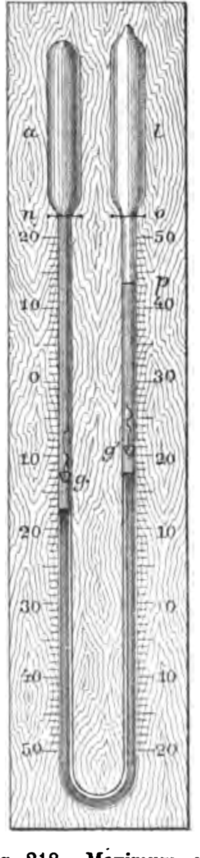


Fig. 218. Maximum- u. Minimum-Thermometer von James Six.

Recht einfach und praktisch ist ein ursprünglich von J. Six angegebenes, später mehrfach abgeändertes Maximum- und Minimumthermometer. An die Enden der beiden Schenkel der auf einem Gestell durch die Klammern *n* und *o* befestigten **U**-förmigen Glasröhre (Fig. 218) sind die Gefässe *a* und *l* angeschmolzen.

Der untere Theil der Röhre enthält Quecksilber. In dem Gefäss *a* und dem damit verbundenen Schenkel der Röhre befindet sich bis zur Oberfläche des Quecksilbers ein Gemisch von Kreosot und Alkohol. Der andere Röhrenschenkel ist nur etwa bis *p* mit dieser Flüssigkeit gefüllt, doch breitet sich der Dampf derselben in dem mit ihr verbundenen, luftleer hergestellten Gefässe *l* aus. In den beiden Flüssigkeitsschichten befinden sich die einen Eisenkern enthaltenden Glasstifte *g* und *g'*, die mit einer federnden Glasborste versehen sind, welche durch Reibung an der Röhrenwand die Beweglichkeit der Stifte einschränkt. Bei Erhöhung der Temperatur veranlasst das sich ausdehnende Kreosot des Gefässes *a* und des damit verbundenen Röhrenschenkels ein Steigen der Quecksilbersäule in dem anderen Schenkel. Der Stift *g* bleibt dabei in unveränderter Lage und zeigt das Temperaturminimum an. Der Stift *g'* wird von dem Quecksilber emporgeschoben. Sinkt nun die Temperatur, so ziehen sich Ausdehnungsflüssigkeit und Quecksilber zusammen und der Druck der in *l* befindlichen Alkoholdämpfe veranlasst ein Fallen der Quecksilbersäule in dem mit *l* verbundenen Röhrenschenkel. Dabei

bleibt aber der Stift g' liegen und zeigt das Temperaturmaximum an. Das Six'sche Instrument trägt eine doppelte, durch Vergleich mit einem Normalthermometer angefertigte Skala.

Wenn die Quecksilberkuppe im linken Schenkel auf Null steht, so muss dies auch mit der Quecksilberkuppe im rechten Schenkel der Fall sein. Die Skalenstriche für + 10°, + 20° etc. müssen in dem linken Schenkel genau so weit unter dem Nullstriche liegen, als sie im rechten Schenkel über demselben stehen. Der Stand der Quecksilberkuppe in jedem der beiden Schenkel giebt also die augenblicklich herrschende Temperatur an. Nach Angabe des abgebildeten Instrumentes beträgt dieselbe + 17,5°; das Minimum betrug + 13,5°, das Maximum + 20°. Vor dem Beginn einer Beobachtungsreihe bringt man mit Hülfe eines Magneten die Zeiger auf die Kuppen der Quecksilbersäule.

Neuere Maximum- und Minimumthermometer.

Ein ebenfalls mit Quecksilber und Alkohol gefülltes Maximum- und Minimumthermometer, an welchem noch ein „Kompensationsschenkel" (Gegendruckschenkel) angebracht ist, rührt von Spitta her, und wird von R. H. C. Wilson, 12 Wilson Str. London W. C. angefertigt.

Andere Maximum und Minimumthermometer sind von R. Fuess (D. R. P. Nr. 26606 vom 21. Juli 1883, zu vergl. Zeitschr. f. Instrk. 1884, Jahrg. 4, p. 259) angegeben worden.

Geothermometer.

Ein Maximumthermometer besonderer Art ist das zur Ermittelung der Temperatur in Erdtiefen dienende Geothermometer (gr. ἡ γῆ [γέα] die Erde) von G. Magnus. Dasselbe ist ein gewöhnliches Quecksilberthermometer mit geräumigem Behälter und entsprechend weiter Röhre. Letztere ist jedoch an ihrem Ende nicht geschlossen, sondern besitzt an der seitlich gerichteten Spitze desselben eine feine Oeffnung. Man füllt das Thermometer für eine bestimmte Temperatur t bis zur Spitze mit Quecksilber und giebt ihm eine willkürliche Skala, die sich ohne Weiteres auf die eines Normalthermometers beziehen lässt, mit welchem das Geothermometer beim Gebrauche verglichen werden muss. Trifft das Geothermometer beim Einführen in ein Bohrloch beispielsweise auf eine warme Quelle, so fliesst ein Theil des Quecksilbers aus. Dieses reicht also nach der Herausnahme des Instrumentes aus dem Bohrloche bei der Temperatur t nicht mehr bis zur Spitze. Man beobachtet nun wie viel Grade das Thermometer weniger anzeigt. Diese Differenz zu t hinzugefügt giebt die gesuchte Temperatur

Mikrothermometer.

Ein Ausflussthermometer mit sehr enger Kapillare hat F. Larroque unter dem Namen Mikrothermometer beschrieben.

Gewichtsthermometer.

Das sogenannte Gewichtsthermometer oder Ausflussthermometer, welches zuerst von Dulong und Petit beschrieben wurde, beruht auf ähnlichen Prinzipien wie das Geothermometer. Aus dem Gewichte des ausgeflossenen Quecksilbers kann die Temperatur, bis zu welcher das Instrument erwärmt wurde, berechnet werden.

Umkehrungsthermometer.

Zur Ermittelung der höchsten und niedrigsten Temperatur in der Meerestiefe hat Aimé sogenannte Umkehrungsthermometer (zu vergl. auch J. Prestwich (Philos. Trans. 1875, P. 2. p. 590 ff.) angefertigt. Die Füllung für diese Maximum- und Minimumthermometer besteht aus Alkohol und Queck-

silber. An der Stelle, wo man die Wassertemperatur zu bestimmen wünscht, werden die Instrumente durch eine besondere Auslösungsvorrichtung, wie sie bei Tiefenmessapparaten, sogenannten **Bathometern** (gr. τὸ βάθος die Tiefe) zur Anwendung gelangt, umgekehrt. Hierdurch kommen die Instrumente in eine Lage, in welcher Quecksilber bei steigender Temperatur aus dem Maximumthermometer, bei fallender Temperatur aus dem Minimumthermometer durch eine feine umgebogene Spitze austritt.

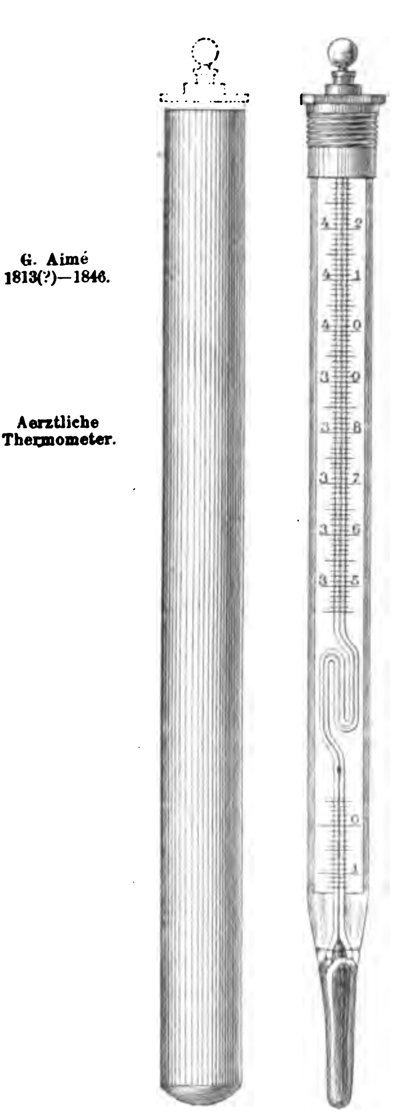


Fig. 219. Aerztliches Maximum-Thermometer von F. Müller, links in der Metallhülse, rechts ohne dieselbe. (Natürliche Grösse.)

G. Aimé 1813(?)—1846.

Georges Aimé wurde um 1813 geboren, der Geburtsort ist unbekannt. Er war Professor der Physik am Collège in Algier und starb am 9. September 1846 auf einer Reise zwischen Algier und Medea.

Eine neue Form hat **V. Chabaud** dem Umkehrungsthermometer gegeben.

Aerztliche Thermometer.

Die Maximumthermometer für den ärztlichen Gebrauch sind Quecksilberthermometer mit gebrochener Skala und einer Eintheilung in Zehntelgrade (Fig. 219). Die Skala reicht von + 35° (oder einem tiefer gelegenen Grade) bis + 42° C. Die Gradzahl 37 hebt sich durch ihre rothe Färbung deutlich von den übrigen schwarzen Zahlen ab. Ein in dem Quecksilberfaden eingeschlossenes Luftbläschen trennt davon einen oberen Theil ab, welcher als Zeiger dient. Wenn sich beim Erwärmen des Thermometerbehälters das Quecksilber ausdehnt, so wird die Luft zwischen ihm und dem abgetrennten Faden zusammengepresst und der letztere wird vorgeschoben. Beim Abkühlen aber bleibt er, die **Maximaltemperatur** anzeigend, an der erreichten Stelle liegen, während das übrige Quecksilber sich zurückzieht. Vor jeder Messung muss man durch geeignete Erschütterungen des Thermometers den abgetrennten Faden in eine solche Lage bringen, dass sein oberes Ende tiefer steht, als es bei der zu erwartenden Maximaltemperatur der Fall sein würde. Um zu verhindern, dass das Luftbläschen in den Quecksilberbehälter gelangt, ist das Steigrohr oberhalb desselben erweitert oder schlingenförmig gestaltet (Fig. 219).

In der Werkstätte von F. Müller (Geissler's Nachfolger) in Bonn werden ärztliche Thermometer mit Eispunkt (Fig. 219) angefertigt.

Unter dem Namen hygienisches Thermometer (D. R. P. Nr. 28214 vom 22. Febr. 1884) haben Alt, Eberhardt und Jäger in Ilmenau ein Instrument angefertigt, welches zwei Quecksilberbehälter und zwei Kapillaren besitzt, von denen die eine eine Skala für ganze Grade, die andere eine solche für Zehntelgrade trägt.

Bei einem ärztlichen Thermometer von Gebrüder Bandekow in Berlin (D. R. P. Nr. 47289 vom 4. Nov. 1888) wird das Stehenbleiben des Quecksilberfadens bei der Maximaltemperatur dadurch erreicht, dass das Hauptrohr zwischen *a* und *c* (Fig. 220) in zwei sehr feine Kapillaren getheilt wird. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit des Thermometers ist der Quecksilberbehälter *g* mit einem gekrümmten Luftkanal *h* versehen.

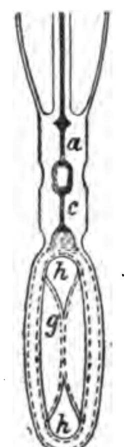


Fig. 220. Aerztliches Thermometer (Minutenthermometer) von Gebrüder Bandekow.

Wilh. Lambrecht in Göttingen verfertigt ärztliche Thermometer, die auf folgendem Prinzip beruhen: In die Kapillarröhre ist dicht oberhalb des Quecksilberbehälters ein sehr feiner Glassplitter eingeschmolzen, der die Oeffnung der Röhre, die an und für sich schon sehr eng ist, nicht gänzlich verschliesst, sondern noch einen mikroskopisch feinen Spalt freilässt. Um die Röhre mit Quecksilber zu füllen, erhitzt man sie bis zur Gluth und taucht das der Kugel gegenüberliegende Ende in Quecksilber. Nach Erkaltung der Röhre überwindet der äussere Luftdruck denjenigen innerhalb der Röhre, und das Quecksilber steigt, den Spalt, den der Glassplitter freilässt, benutzend, bis in den Behälter hinein, der sich vollsaugt. Ausserdem steht noch oberhalb desselben etwas Quecksilber in der Röhre. Wird das Thermometer nach der Fertigstellung gebraucht, so steigt das Quecksilber bis zu einer bestimmten Höhe. Da der Druck des Quecksilberfadens beim Zurückweichen desselben nicht genügt, um das Metall durch den engen Spalt zu treiben, so reisst der Faden an der betreffenden Stelle ab. Man kann also die Ablesung auch vornehmen, wenn sich das Thermometer nicht mehr an dem Orte befindet, dessen Temperatur man zu wissen wünscht. Um den Zusammenhang des Quecksilbers wieder herzustellen, genügt das bekannte Schleudern. Diese und ähnliche Instrumente sind derartig empfindlich, dass sie eine bestimmte Temperatur, beispielsweise die des menschlichen Körpers, im Verlaufe von etwa einer Minute, oder in noch kürzerer Zeit, anzeigen; man hat sie daher Minutenthermometer genannt.

Minutenthermometer.

Die bei weitem häufigste Konstruktion der ärztlichen Maximumthermometer ist die sogenannte „Stiftvorrichtung". Ein im unteren Ende des Quecksilberge-

fässes eingeschmolzener Glasstift ragt einige Millimeter weit in die Kapillarröhre hinein. Das sich ausdehnende Quecksilber drängt sich am Stift vorbei, reisst aber beim Zusammenziehen an der oberen Stiftspitze ab. Auch hier wird durch Schleudern das Quecksilber aus der Kapillarröhre in das Gefäss befördert.

Die physikalisch-technische Reichsanstalt in Charlottenburg und die Grossherzogl. Prüfungsanstalt für Glasinstrumente in Ilmenau führen die amtliche Prüfung auch ärztlicher Thermometer aus, die vorschriftsmässig angefertigt worden sind.

Für jedes geprüfte Thermometer wird eine mit Amtsstempel versehene gedruckte Bescheinigung ausgestellt, in welche die Prüfungsergebnisse handschriftlich eingetragen werden. Die Form der Bescheinigung in zweiter Ausfertigung vom 19. Juli 1898, welche sich auf eines meiner Maximumthermometer bezieht, ist aus der p. 37 gegebenen Abschrift zu ersehen.

Auf der Rückseite des „Prüfungsscheines" steht folgende Bemerkung:

„Das Herunterschleudern des Quecksilberfadens ist erst nach dem Erkalten des Thermometers vorzunehmen, andernfalls trennen sich leicht kleine Theile ab, deren Wiederanschluss manchmal schwierig ist. Ihre Vereinigung ist meistens dadurch zu erzielen, dass das Thermometer sehr vorsichtig so weit erwärmt wird, bis der Faden die abgetrennten Quecksilbertheile erreicht."

Der § 15 der „Prüfungsbestimmungen für Thermometer" (Gültig vom 1. April 1898 ab) lautet:

Die Skala ärztlicher Thermometer soll im Allgemeinen Temperaturen von 36 bis 42° C. umfassen und in $^1/_{10}$° C. getheilt sein. Die Länge eines Grades darf nicht weniger als 3,5 mm betragen.

Aerztliche Einschlussthermometer sollen oben zugeschmolzen sein; doch werden bis zum 1. April 1899 auch noch oben zugesiegelte Thermometer zugelassen. Erstere sind mit einer Strichmarke bei 38°, letztere ausserdem mit einer zweiten bei 41° zu versehen.

Die Prüfung findet mindestens an drei Skalenstellen statt. Bei einem Skalenumfang von mehr als 10° wird für je 3° noch eine Skalenstelle mehr geprüft.

Die Fehler dürfen 0,1° C. nicht überschreiten; ärztlichen Thermometern aus nachwirkungsfreiem Glase wird, wenn die Fehler an allen geprüften Skalenstellen weniger als 0,05° C. betragen, die Bezeichnung „fehlerfrei" aufgeätzt und ein entsprechender Prüfungsschein beigegeben. Auf besonderen Wunsch kann dies jedoch unterbleiben.

Maximumthermometer, welche auf der Skala als „Minutenthermometer" bezeichnet sind, sollen die Temperatur eines Wasserbades von 40° in längstens 1 Minute annehmen. Diese Thermometer erhalten besondere Prüfungsbescheinigungen, in denen über die grössere Empfindlichkeit nähere Angaben enthalten sind.

Thermometer mit der Aufschrift „Sekundenthermometer" sind unzulässig.

Zeigerthermometer nach Immisch oder ähnliche Thermometer werden zur Prüfung zugelassen unter sinngemässer Anwendung der für die übrigen ärztlichen Thermometer gültigen Vorschriften.

Aerztliche Thermometer mit Theilung nach Fahrenheit können, in Rücksicht auf den Export, zur Prüfung zugelassen werden.

An Prüfungsgebühren werden erhoben für gewöhnliche ärztliche Thermometer an 3 Stellen bei der phys-techn. Reichsanstalt M. 0,60, bei der Grossherzogl. Sächs. Anstalt M. 0,50; für ärztliche Maximumthermometer an 3 Stellen 0,70 und 0,60; für ärztliche Minutenmaximumthermometer an 3 Stellen M. 1 und 0,80; für

Zeigerthermometer pro Stück M. 1 und M. 1. Für jede weitere Skalenstelle über 3 hinaus werden bei beiden Anstalten M. 0,15 berechnet.

Zweite Ausfertigung.



Unter Aufsicht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Prüfungsschein

für

das ärztliche Maximumthermometer

G. S. 7443.

Das Thermometer ist in zehntel Grade C. getheilt.
Seine Angaben sind bei

36 Grad um ...... Grad zu hoch, zu niedrig, fehlerfrei,
38 Grad um .... Grad zu hoch, zu niedrig, fehlerfrei,
41 Grad um 0,1 Grad zu hoch, zu niedrig, fehlerfrei.

Die vorstehenden auf zehntel Grade abgerundeten Prüfungsergebnisse sind auf das Gasthermometer bezogen und gelten für den jetzigen Zustand des Thermometers.

Als Kennzeichen der vollzogenen Prüfung ist auf das Thermometer der Reichsadler mit den beigefügten Buchstaben G. S. sowie die oben angegebene Nummer amtlich aufgeätzt worden. Bei 38 und bei 41 Grad befindet sich auf dem Umhüllungsrohr eine Strichmarke.

Ilmenau, den 19. Juli 1898.

Großherzogl. Sächs. Prüfungsanstalt
für Glasinstrumente.

Amtsstempel. gez. Böttcher.

Prüfungsscheine ohne Amtsstempel haben keine Gültigkeit.

H. Kronecker hat zur Messung der maximalen Innentemperatur von Thieren ein geeignetes, auf dem Prinzip des Ausflussthermometers beruhendes Maximumthermometer, sogenanntes Schluckthermometer, beschrieben.

Schluckthermometer von Kronecker.

Anm. In dem vorstehenden Prüfungsscheine sind in Zeile 9 und 10 die Worte um ... Grad zu hoch, zu niedrig, in Zeile 11 die Worte: zu niedrig, fehlerfrei und in Zeile 17 die Worte: und bei 41 handschriftlich gestrichen.

Dasselbe besteht aus einem kleinen kugel- oder eiförmigen Glasgefässe *g* (Fig. 221) mit einem 5 bis 8 mm langem Kapillarröhrchen. Das Instrument wird bei Zimmertemperatur mit Quecksilber gefüllt und in eine passende, innen lackirte Kapsel *k* aus Silber eingelegt. Nachdem die Ausflussspitze durch die Korkfütterung *f* fixirt wurde, verschliesst man die Kapsel mit dem dazugehörigen Deckel.

Soll die Maximaltemperatur im Magen-Darmkanal eines Thieres ermittelt werden, so lässt man die Kapsel mit ihrem Inhalt von dem Versuchsthiere verschlucken. Hunde stossen das Instrument mit dem Kothe leicht wieder aus.



Fig. 221. Schluckthermometer von H. Kronecker. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Wünscht man dasselbe nur im Magen zu halten, so versieht man es mit einem Faden, an welchem es nach beliebiger Zeit durch den Mund wieder hervorgezogen wird.

Zur Feststellung der stattgehabten Maximaltemperatur versenkt man das von der Kapsel befreite Thermometer senkrecht in ein Wasserbad, durch dessen Wände es sich mit einer Lupe genau beobachten lässt.

Wenn das Wasser Zimmertemperatur besitzt, so findet man die Kapillare und zuweilen noch einen Theil des Gefässes frei von Quecksilber. Wird nun die Temperatur des Bades allmählich erhöht, so steigt das sich ausdehnende Quecksilber wieder bis zur Spitze der Kapillare. Die hierzu erforderliche Temperatur, welche man mit einem Normalthermometer bestimmt, wird als Maximaltemperatur, welcher das Instrument im Inneren des Verdauungsapparates ausgesetzt war, angesehen.

Damit ein Tröpfchen ausgeflossenen Quecksilbers nicht wieder in die Kapillare zurückgesogen werde, ist letztere schräg abgeschnitten, so dass jeder austretende Tropfen gleich abfällt.

Aehnliche Instrumente ohne Kapsel lassen sich in das Blutgefässsystem eines Thieres einführen. Nach Tödtung desselben wird die Maximaltemperatur in der angegebenen Weise bestimmt.

Die Genauigkeit der Messung geht bis auf 0,1° C.

Ueber Hypsothermometer vergl. man Bd. I, p. 606 und die im Literaturverzeichniss angeführte Arbeit von W. Jordan und Fr. Grützmacher.

G. Aimé: Mémoire sur les températures de la méditerranée. Annales de chim. et de phys. 1845. III. Sér., T. 16, p. 1. Pl. I.

Edm. Barbier: Comparabilité du thermomètre à poids et du thermomètre à tige. Comp. rend. 1884, T. 99, p. 752.

V. Chabaud: Sur un nouveau modèle de thermomètre à renversement pour mesurer les températures de la mer à diverses profondeurs. Compt. rend. 1892, T. 114, p. 65.

Dulong und Petit: Recherches sur les lois de dilatation des solides, des liquides et des fluides élastiques, es sur la mesure exacte des températures. Annales de chim. et de phys. 1816, T. 2, p. 240 (261).

Dieselben: Sur la mesure des températures et sur les lois de la communication de la chaleur. ib 1817, T. 7, p. 113 (130).

E. Ebermayer: Ein neues verbessertes Maximum- und Minimumthermometer (angefertigt von C. Greiner u. Co. in München, Keufingerstr. 17). Zeitschrift für Instrumentenkunde 1882, Jahrg. 2, p. 134.

Fr. Grützmacher: Untersuchungen und Verbesserungen Fuess'scher Siedeapparate zum Höhenmessen. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1897. Jahrgang 17, p. 193.

W. Jordan: Vergleichung zweier Siedethermometer mit Quecksilberbarometern. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1890, Jahrg. 10, p. 341.

H. Kronecker: Vorrichtungen, welche im physiologischen Institut zu Bern bewährt sind. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1889, 9. Jahrg., p. 293.

F. Larroque: Microthermomètre pour la mesure des variations très petites de température. Compt. rend. 1883, T. 97, p. 1207.

L. Loewenherz: Ueber die Konstruktion der Indices bei Maximum- und Minimumthermometern. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1882, Jahrg. 2, p. 137.

E. Leyst: Ueber den Einfluss der Temperatur des Quecksilberfadens bei gewissen Maximumthermometern etc. Repert. für Meteorologie Bd. 14. Ref. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1894, Jahrg. 14, p. 143.

G. Magnus: Beschreibung eines Maximumthermometers und einiger damit angestellter Versuche in einem Bohrloche zu Rüdersdorf. Annalen der Physik und Chemie 1831, Bd. 22, p. 138 mit Taf. 2, Fig. 1 bis 4, Abänderung: 1837, Bd. 40, p. 139. (Konstruktion des Geothermometers.)

Marey: Sur un nouveau thermographe. Compt. rend. 1881, T. 92, p. 1441.

H. Negretti und Zambra: New Maximum-Thermometer. Brit. Assoc. Report 1855.

J. A. Repsold: Spitta's Quecksilbermaximum- und Minimumthermometer. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1882, Jahrg. 2, p. 28 mit Abbildung in 1/4 nat. Grösse.

Rutherford: A Description of an improved thermometer. Edinburgh philosophical Transact. 1794. Vol. 3, XII, p. 247.

J. C. Schloesser: Normal-Medizinal-Thermometer. Centralzeitg. f. Optik und Mech. 1883; 4, p. 44.

J. Six: Account of an improved thermometer (communictaed by Wollaston). Philosophical Transact. 1782, Vol. 72, p. 72.

H. Wild: Erfahrungen mit dem Thermometrographen von Negretti und Zambra. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1888, Jahrg. 8, p. 145.

2. Thermometer mit gasförmiger Substanz.

Gasthermometer.

Während die Einrichtung der bisher besprochenen Instrumente zur Messung der Temperatur auf der Volumänderung von Stoffen des flüssigen Aggregatzustandes beruht, betrachten wir jetzt Instrumente, bei denen eine Volumänderung gasförmiger Körper, welche als thermometrische Substanz dienen, in Betracht kommt. Solche Instrumente heissen Gasthermometer.

a) Thermometer mit Luftfüllung.

Die einfachste Form der Gasthermometer besteht in einer, an ihrem einen Ende zugeschmolzenen, allenfalls mit gefässartiger Erweiterung versehenen Glasröhre, in welcher eine bestimmte Menge trockener Luft oder eines anderen Gases durch eine Flüssigkeitssäule abgegrenzt wird. Da das Volumen der betreffenden Gasmasse nicht

[illegible] der Temperatur, sondern auch von dem darauf lastenden [illegible] abhängt, so besitzt ein solches Instrument keine unveränder-

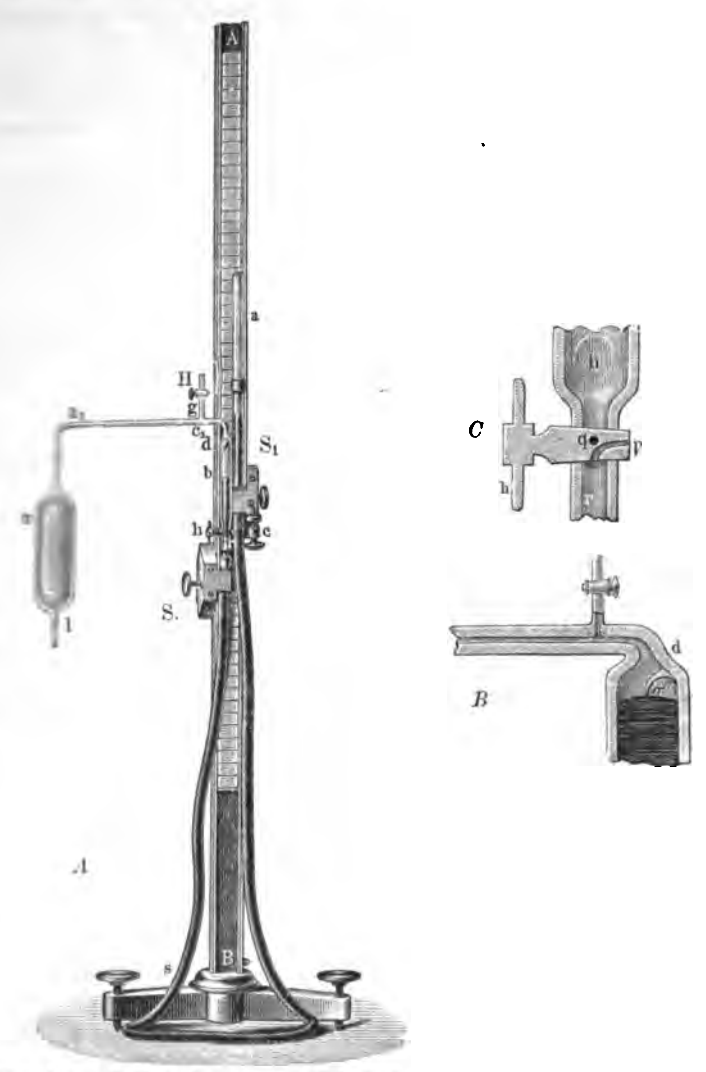


Fig. 222 *A* bis *C*. Luftthermometer nach von **Jolly**. *A* Totalansicht; *B* der obere Theil der Röhre *d* mit der Spitze *σ*; *C* Einrichtung des Stahlhahnes *h*. Die übrigen Erklärungen der Bezeichnungen im Text.

lichen Fundamentalpunkte, sondern diese müssen vielmehr bei jeder Benutzung aufs Neue bestimmt werden. Gewöhnlich geht man bei der Bestimmung der Temperatur mit Gasthermometern von der That-

sache aus, dass jede Temperaturerhöhung, welche eine Gasmasse erfährt, falls ihr Volumen konstant bleibt, eine Erhöhung ihrer Spannung bewirkt.

Es muss somit die letztere, beziehungsweise der ihr gleichkommende Aussendruck, ein Maass für die mit Wärmezufuhr verbundene Temperatursteigerung sein. Ein auf dieser Ueberlegung beruhendes, vielfach benutztes Instrument ist von Jolly's Luftthermometer (1874), dessen Einrichtung mit einigen Abänderungen Fig. 222 zeigt.

von Jolly's Luftthermometer.

Auf einem mit Stellschrauben versehenen eisernen Dreifuss erhebt sich die vertikale Säule *A B*, welche einen Glas- oder Metallstreifen mit Millimeterskala trägt. Das cylindrische, bei *l* verschmälerte Glasgefäss *n* ist an das Kapillarrohr a_1 angeschmolzen. Von diesem zweigt sich bei c_1 das mit dem Hahn *H* versehene Rohr *g* ab, welches mit einem Chlorcalciumrohr oder einer anderen Vorrichtung zum Gastrocknen verbunden werden kann. Bei *d* geht das Kapillarrohr a_1 in ein etwa 10 mm weites Rohr *b* über, dessen unteres Ende in eine mit dem Stahlhahn *h* versehene Fassung eingekittet ist. Diese lässt sich mit einer Ueberwurfsschraube luftdicht auf eine eiserne Fassung der an dem Schlitten *S* befestigten Röhre *r* aufschrauben. Das untere Ende von *r* ist durch den umsponnenen, inwendig gefirnissten Kautschukschlauch *s* mit dem, von dem zweiten Schlitten S_1 gehaltenen, beiderseits offenen Rohr *a* verbunden, dessen Weite der von *b* gleich ist.

An dem Schlitten S_1 befindet sich behufs kleiner Verschiebungen der Röhre *a* die Mikrometerschraube *c*. Unterhalb *d* ist an der Innenwand der Röhre *b* die Spitze *σ* eingeschmolzen (zu vergl. Fig. 222 *B*). Der Stahlhahn *h* hat die Einrichtung, welche Fig. 222 *C* zeigt. Die Durchbohrung *q* erlaubt die beiden Röhren *b* und *r* in Verbindung zu setzen, während die Durchbohrung *p* entweder eine Kommunikation von *b* oder von *r* mit der Aussenwelt vermitteln kann. Um den Apparat in Thätigkeit zu setzen, werden die Theile *n*, a_1 und *b* mit Hülfe einer Luftpumpe und eines Chlorcalciumrohres durch den Hahn *H* mit trockener Luft gefüllt und bei geschlossenem Hahn *h* durch die Ueberwurfsschraube mit der Fassung der Röhre *r* verschraubt. Den Schlitten *S* hat man etwa in der Mitte der Säule festgeklemmt und den Kautschukschlauch, sowie die Röhren *a* und *r* mit Quecksilber gefüllt.

Alsdann umgiebt man das Gefäss *n* bis zu einer am senkrechten Theile der Kapillare a_1 angebrachten Marke in geeigneter Weise mit geschabtem Eis. Nach einiger Zeit öffnet man den Stahlhahn *h* und

bewirkt durch Heben und Senken des Schlittens S_1, dass das Quecksilber in dem Rohr *b* soweit emporsteigt, bis die Spitze der Marke σ und ihr Spiegelbild in der Quecksilberkuppe sich berühren. Der Stand der letzteren und ebenso der des Meniskus in der Röhre *a* werden an der Skala abgelesen und notirt.

Die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer, vermehrt um die Niveaudifferenz der Quecksilberkuppen in den Röhren *a* und *b*, ist dann gleich der Spannkraft E_0 der eingeschlossenen Luft bei 0°. Nun lässt man in geeigneter Weise die zu messende Temperatur t auf das Gefäss *n* und den vertikalen Theil der Kapillare bis zur Eintauchmarke einwirken, und bewerkstelligt wiederum die Einstellung der Quecksilberkuppe bis zur Spitze der Marke σ. Die Spannkraft E_t der eingeschlossenen Luft bei t° ist gleich dem beobachteten Barometerstande, vermehrt um den Höhenunterschied des Quecksilbers in den beiden Röhren, oder vermindert um diese Grösse, falls das Niveau in der Röhre *a* niedriger stehen sollte als in der Röhre *b*. Man findet alsdann die Temperatur t mit grosser Annäherung aus der Gleichung:

$$t = \frac{E_t - E_0}{\alpha E_0 - \gamma E_t},$$

worin α der Ausdehnungskoëffizient der Gase (0,003665) und γ der kubische Ausdehnungskoëffizient des Glases (0,000025) sind.

Für sehr genaue Messungen darf das Volumen v der aus dem Temperaturbad herausragenden Kapillare nebst dem des oberen Abschnittes der Röhre *b* bis zur Spitze der Marke σ bei der Umgebungstemperatur ϑ^0 in Bezug auf das Volumen V des Gefässes *n* sammt dem des vertikalen Kapillarenabschnittes bei der Temperatur 0° nicht vernachlässigt werden.

Man erhält dann die zu messende Temperatur nach der Gleichung:

$$t = \frac{E_t - E_0}{\alpha E_0 - \gamma E_t} \cdot \left[1 + \frac{v}{V_0} \cdot \frac{1}{1 + \alpha\vartheta} \cdot \frac{E_t}{E_0}\right]$$

Hierin umfasst der in Klammern stehende Ausdruck die Korrektion für den Röhrenabschnitt vom Bug der mit dem Gefässe *n* verbundenen Kapillare bis zur Spitze der Marke σ.

Ausser dem von Jolly'schen Instrumente giebt es zahlreiche andere Konstruktionen von Luftthermometern, theils aus älterer, theils aus neuerer Zeit. Hier nennen wir nur das Luftthermometer von Penot (1831), Gay-Lussac (1833), E. Mitscherlich (1833), Rudberg (1838), Magnus (1842), Regnault (1850), van Eyk (1865), Berthelot (1868), Zabel (1870), Weinhold (1873), L. Pfaundler (1879), L. W. Andrews (1881), F. Miller (1882), O. Pettersson (1882), H. Schneebeli (1882), G. Grassi (1885), J. T. Bottomley (1888), H. F. Wiebe und A. Böttcher (1890), D. Mazzotto (1891), H. L. Callendar (1891), Lothar Meyer (1893), M. Koppe (1893) und J. R. Erskine Murray (1897). Hinsichtlich der Einrichtung dieser Instrumente muss auf die Originalarbeiten verwiesen werden.

J. A. van Eyk wurde am 8. Oktober 1808 in Amsterdam geboren. Er war Rechtsanwalt in s'Gravenhage und Amsterdam, beschäftigte sich privatim mit Naturwissenschaft, insbesondere Mechanik, und starb am 28. Januar 1887 in Amsterdam. (Briefliche Mittheilung der Universitäts-Bibliothek in Amsterdam.)

J. A. van Eyk 1808—1887.

Otto Zabel wurde am 16. November 1835 in Dortmund geboren. Er war Mitinhaber der Armaturenfabrik Raven und Zabel in Quedlinburg und wurde am 19. Juni 1876 bei Blankenburg todt aufgefunden. (Briefliche Mittheilung der Stadtgemeinde-Verwaltung Quedlinburg.)

Otto Zabel 1835—1876.

Hier mag noch eine kurze Notiz über den äusserst vielseitigen Gelehrten Penot Aufnahme finden.

Penot 1801—1886.

Jean Fleury Achille Penot wurde am 24. August 1801 in Nîmes als Sohn eines französischen Regimentszahlmeisters geboren und absolvirte das Lyceum in Mülhausen im Elsass. Er war Lehrer der Mathematik und Physik am Lyceum in Draguignan, Aix und Mülhausen, arbeitete später unter Ampère, Thénard, Chevreul und Arago in Paris und promovirte 1829 in Strassburg zum Dr. phil. Dann leitete er das 1822 gegründete städtische Laboratorium für Chemie in Mülhausen. Als Mitglied des akademischen Senates von Strassburg und wegen seines organisatorischen Talentes stand er zum höheren Unterrichtswesen des Elsass in intimer Beziehung. Er gründete in Mülhausen eine Handelsschule, die 1870 einging; 1856 wurde er Direktor der Ecole des sciences appliquées, einer Art Hochschule in Mülhausen, die leider im Jahre 1870 ebenfalls einging. Von 1872 bis zu seinem Tode war er Direktor der Handelsschule in Lyon. Er starb am 2. März 1886 in Lyon. Penot hat zahlreiche Schriften mathematischen, physikalischen, chemischen und nationalökonomischen Inhaltes verfasst. Ein Nekrolog über Penot von Ernst Zuber findet sich im Bulletin der Société industr. de Mulhouse, 1886, Bd. 56, p. 505 ff.

Eines neueren Luftthermometers von F. C. G. Müller soll hier noch gedacht werden. Dasselbe beruht auf folgendem Prinzip: Wenn man in einem gewöhnlichen Heberbarometer das Quecksilber im offenen Schenkel um einige Centimeter niederdrückt, so dass die Quecksilbersäule im geschlossenen Schenkel in gehobener Stellung verharrt, ohne die Leere auszufüllen, so ist der Druck an jedem Punkte der Säule konstant und nur durch den senkrechten Abstand vom oberen Quecksilberspiegel bestimmt.

Luftthermometer von F. C. G. Müller.

Das Instrument zeigt Fig. 223. *AB* ist das 105 cm lange Barometerrohr, *BC* sein offener Schenkel. Der Durchmesser der Röhrenabschnitte *AL* und *MC* beträgt 6 mm, der des Abschnittes *BL* nur etwa 3 mm. Das Rohr *AB* steht noch mit dem kurzen, durch den Hahn *D* verschliessbaren Schenkel *BE* in Verbindung. Bei *E* ist mit diesem Schenkel das Luftthermometer *EJK*, dessen Gefäss *K* 50 mm im Durchmesser hat, durch ein Schlauchstück verbunden. In dem 1,6 mm weiten Röhrenabschnitt *JG* befindet sich mit Indigo gefärbte 78 % Schwefelsäure als Sperrflüssigkeit. *JG* liegt vor der Hauptskala und steht durch den Dreiweghahn *G* mit der 10 mm im Durchmesser besitzenden Erweiterung *F* in Verbindung, die wiederum durch ein 2 cm langes und 2 mm weites Rohrstück mit *EB* kommunizirt. *H* dient zum Einfüllen der Flüssigkeit. Die Säure füllt etwa ein Drittel von *F* aus; während darunter das Quecksilber steht. In dem offenen Schenkel *C* befindet sich ein an dem Stahldraht *O* befestigter

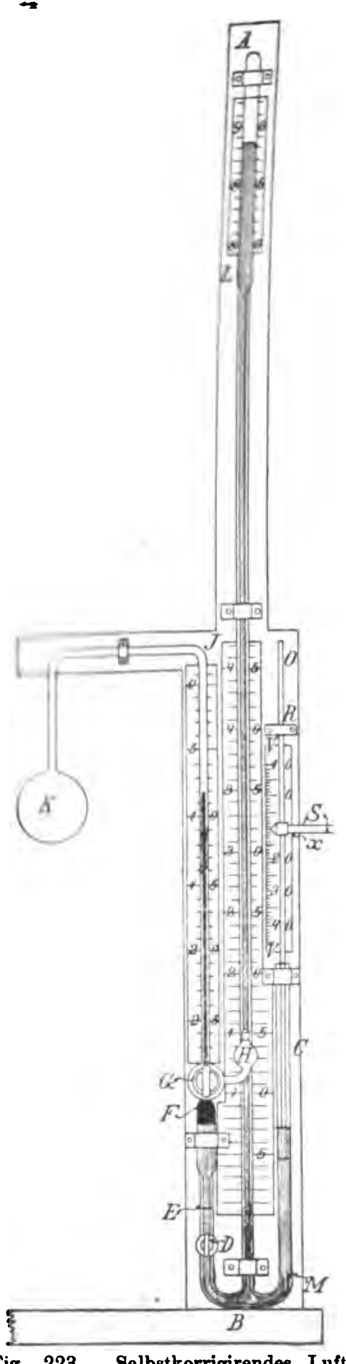


Fig. 223. Selbstkorrigirendes Luftthermometer von F. C. G. Müller. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Lederstopfen zum Niederdrücken des Quecksilbers. Bei *R* geht der Draht durch eine Führungshülse. Der Griff *S* dient zur Bewegung von *O*. In der Normalstellung muss der Griff den Anschlagstift *x* berühren. Die zur Messung der Ausdehnung des eingeschlossenen Luftvolumens dienende Hauptskala umfasst 28 Celsiusgrade. Bei den angegebenen Dimensionen der Röhrenabschnitte besitzt ein Grad die Länge von 11 Millimetern. Es ist daher eine Ablesung aus weiterer Entfernung möglich, und das Instrument eignet sich zur Demonstration in Hörsälen und zur Ueberwachung der Temperatur in Krankenzimmern und Fabrikräumen. Die Herstellung der Hauptskala geschieht empirisch. Der Nullpunkt liegt dicht unter dem Knie der Kapillare.

Die Temperaturen lassen sich auch durch die Drucke bei konstantem Volumen bestimmen. Durch passende Bewegung des Stopfens kann man den Säurefaden auf einen bestimmten Punkt der Hauptskala, beispielsweise auf 10° einstellen. Dann muss der Stand des Stopfens der Temperatur entsprechen, welche an der Druckskala *VV* mit Hülfe eines, an dem Griff *S* befestigten Zeigers abgelesen wird. Die Druckskala wird apriori berechnet und dadurch richtig angebracht, dass man die Glaskugel nebst einem Quecksilberthermometer in Wasser von Zimmertemperatur taucht und den Säurefaden auf den Strich 10 drückt. Alsdann befestigt man die Skala in der Art, dass der Zeiger genau auf die betreffende Temperatur weist. Mit Hülfe der Druckskala lässt sich die Hauptskala herstellen, kontrolliren und, wenn erforderlich, nach oben und unten erweitern. Wenn man den Zeiger nämlich aus der Normalstellung (10°) auf 0 oder 20 schiebt, so werden die Werthe der Hauptskala um 10° erhöht beziehungsweise erniedrigt. Umgekehrt wird die Druckskala verlängert, wenn man den Säurefaden nicht auf 10, sondern auf 0 oder 20 einstellt. Auch die Temperaturbestimmung aus dem Druck bei konstantem Volumen ist vom äusseren Luftdruck unabhängig. Ein am Stativ unter dem Barometerrohr befestigter Streifen mit

Millimetertheilung erlaubt alle im Instrumente herrschenden Drucke ohne Weiteres abzulesen.

Der ganze Apparat wird in der Werkstätte von M. Kohl in Chemnitz zum Preise von M. 65 angefertigt.

Neuerdings ist dieses Luftthermometer in der Grossherzogl. Lehrwerkstatt für Feinmechaniker in Ilmenau wesentlich verbessert worden. Alle Glastheile werden dabei mit einander verschmolzen und die Gummischlauch-Verbindung kommt ganz in Fortfall. Bei *M* ist noch ein Hahn angebracht worden, welcher zur Absperrung des mit der äusseren Luft in Verbindung stehenden und durch den Stopfen nur mangelhaft verschlossenen Schenkels *M C* dient. Das so gestaltete Instrument ist an einem Metallstativ befestigt, das durch Stellschrauben vertikal gerichtet werden kann.

Luftthermometer von Fuess und Wiborgh.

Statt des Glasgefässes, welches zur Aufnahme der Luft dient, werden auch Luftthermometer angefertigt, bei denen das Luftgefäss aus einem metallenen Hohlcylinder besteht. Man vergl. die im Literaturverzeichniss genannten Mittheilungen von R. Fuess und J. G. Wiborgh.

Unter der Annahme, dass die Ausdehnung der Luft für gleich grosse Temperaturzunahmen immer gleich viel betrage, betrachtet man die Angaben eines Luftthermometers als die zuverlässigsten. Auf die durch das Luftthermometer bestimmten Temperaturen sind daher die Angaben aller anderen Thermometer zu beziehen.

Es genügt ein Thermometer mit dem Luftthermometer genau zu vergleichen und nach dem auf diese Weise erhaltenen Normalthermometer andere zur Verwendung kommende Instrumente zu aichen.

Für Thermometer aus Jenaer Glas kommen nach H. F. Wiebe's und A. Böttcher's (Zeitschrift für Instrumentenkunde 1890, Jahrg. 6, p. 245 u. 246) Vergleichungen mit dem Luftthermometer von 10 zu 10° für Temperaturen von — 20° bis + 300° die Korrektionen auf p. 46 in Betracht.

Mit diesen Werthen stimmen die von Chappuis (Trav. et Mém. du Bureau intern. des Poids et Mesures 1888, T. 6) für Thermometer aus Tonnelot'schem Glase in Bezug auf ein Stickstoffthermometer erhaltenen Werthe im Allgemeinen überein.

F. Grützmacher hat Quecksilberthermometer aus Jenaer Glas 59^{III}, 122^{III} und aus Resistenzglas von Greiner und Friedrichs in Stützerbach mit dem Luftthermometer verglichen und ist zu den Ergebnissen gelangt, welche in der 2. Tabelle auf p. 46 angegeben sind.

Aus den Untersuchungen von L. Holborn und W. Wien, welche mit Benützung von Porzellangefässen Temperaturen bis 1600° C. gemessen haben (sie wandten dabei trocknen Wasserstoff von niedriger Tension an), lässt sich der Schluss ziehen, dass eine Fehlerquelle für das Luftthermometer bei der Messung sehr hoher Temperaturen in dem Auftreten störender Veränderungen des Gas-

Angabe	Korrektion	Angabe	Korrektion
— 20	+ 0,153°	+ 150	+ 0,10°
— 10	+ 0,067	160	+ 0,10
0	0,000	170	+ 0,08
+ 10	— 0,049	180	+ 0,06
20	— 0,083	190	+ 0,02
30	— 0,103	200	— 0,04
40	— 0,110	210	— 0,11
50	— 0,107	220	— 0,21
60	— 0,096	230	— 0,32
70	— 0,078	240	— 0,46
80	— 0,054	250	— 0,63
90	— 0,028	260	— 0,82
100	0,000	270	— 1,05
110	+ 0,03	280	— 1,30
120	+ 0,05	290	— 1,58
130	+ 0,07	300	— 1,91
140	+ 0,09		

Bei der Temperatur	Reduktion für Thermometer aus			Bei der Temperatur	Reduktion für Thermometer aus		
	Glas 59III	Glas 122III	Resistenz-Glas		Glas 59III	Glas 122III	Resistenz-Glas
Grad	Grad	Grad	Grad	Grad	Grad	Grad	Grad
0	0,000	0,000	0,000	50	— 0,021	+ 0,013	— 0,126
5	— 0,009	+ 0,001	— 0,032	55	— 0,017	+ 0,014	— 0,120
10	— 0,017	+ 0,002	— 0,059	60	— 0,014	+ 0,015	— 0,112
15	— 0,022	+ 0,003	— 0,081	65	— 0,010	+ 0,015	— 0,102
20	— 0,026	+ 0,004	— 0,098	70	— 0,006	+ 0,014	— 0,090
25	— 0,028	+ 0,006	— 0,112	75	— 0,003	+ 0,014	— 0,077
30	— 0,029	+ 0,008	— 0,121	80	— 0,001	+ 0,012	— 0,063
35	— 0,028	+ 0,009	— 0,127	85	+ 0,001	+ 0,010	— 0,048
40	— 0,026	+ 0,011	— 0,130	90	+ 0,002	+ 0,008	— 0,032
45	— 0,024	+ 0,012	— 0,129	95	+ 0,002	+ 0,004	— 0,016
50	— 0,021	+ 0,013	— 0,126	100	0,000	0,000	0,000

inhaltes liegt, welche wahrscheinlich mit Transfusions- und Occlusionserscheinungen zusammenhängen.

Eine besondere Art von Luftthermometern bilden die sogenannten Differentialthermometer, welche zur Erkennung und Messung

geringer Temperaturunterschiede dienen. Sie sind derartig eingerichtet, dass in ihnen zwei Luftmassen durch eine Flüssigkeitsschicht getrennt werden, welche bei einer eintretenden Temperaturdifferenz der beiden Luftmassen ihren Stand ändert. Zu diesen Instrumenten gehört das Differentialthermometer von J. Leslie und Rumford. Beide Apparate bestehen aus einer, an ihren Enden rechtwinkelig nach aufwärts gebogenen, horizontal gelagerten Glasröhre. An die Enden der beiden senkrechten Schenkel sind lufthaltige Glaskugeln angeblasen. Die beiden Kugeln sind gleich gross. Die horizontale Röhre enthält bei dem Leslie'schen Instrument eine gefärbte Flüssigkeit, welche auch die Schenkel bis zur halben Höhe anfüllt. Bei dem Rumford'schen Instrumente wird die Trennung der beiden Luftmassen nur durch einen kurzen, in der horizontalen Röhre befindlichen Flüssigkeitsfaden bewirkt. Um die Empfindlichkeit gegen strahlende Wärme zu erhöhen, wird die eine der beiden Kugeln geschwärzt. Die Verschiebung der in den Röhren eingeschlossenen Flüssigkeit wird an einer Skala gemessen, die hinter den vertikalen Schenkeln (Leslie), beziehungsweise hinter der horizontalen Röhre (Rumford) angebracht ist.

Differentialthermometer von Leslie und Rumford.

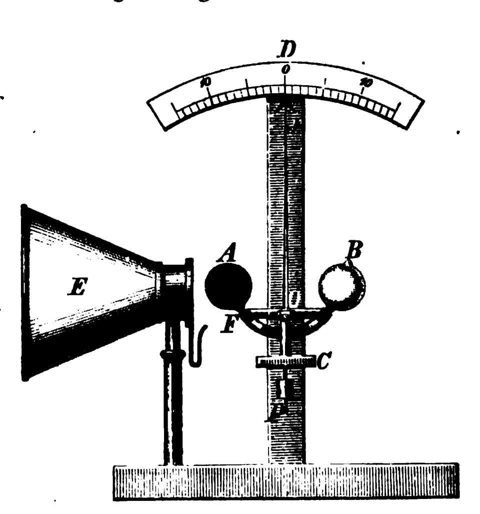


Fig. 224. H. Dufour's Differentialthermometer. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Ein ähnlicher Apparat, wie der Rumford's, ist das Mikrocalorimeter von C. G. Schmidt (Handbuch der Naturlehre, Giessen 1801, 2. Aufl. 1813, p. 319), welches auf der Ausdehnung von Weingeistdämpfen beruht.

Mikrocalorimeter von C. G. Schmidt.

Differentialthermometer von Dufour.

Das Differentialthermometer von H. Dufour soll die Erscheinungen der strahlenden Wärme einem grösseren Zuschauerkreise sichtbar machen. Die beiden lufthaltigen Kugeln A und B (Fig. 224), von denen die eine geschwärzt, die andere vergoldet ist, sind durch die gebogene, etwas Quecksilber enthaltende Röhre F mit einander verbunden. Ein an die Röhre befestigter Metall- oder Holzsteg ist um die horizontale Schneide O drehbar, welche auf einer auf C senkrecht stehenden Stange ruht. Mit Hülfe des verschiebbaren Gewichtes P lässt sich die Empfindlichkeit des Apparates beliebig ändern. Soll das Wärmedurchlassungsvermögen eines Körpers untersucht werden,

so bringt man ihn zwischen die Kugel *A* und den Blechtrichter *E*, vor dessen weiter Oeffnung sich die Wärmequelle befindet.

Bei gleicher Temperatur der beiden Kugeln steht der Steg horizontal, der Zeiger *J* vertikal, und das Quecksilber in der Mitte der Röhre. Steigt die Temperatur von *A*, so treibt die darin befindliche, sich ausdehnende Luft das Quecksilber gegen die Kugel *B*, die Röhre neigt sich nach rechts und der Zeiger giebt den entsprechenden Ausschlag auf der Skala *D* an. Mit dem Aufhören der Strahlung stellt sich die ursprüngliche Lage von *F* und *J* wieder her. Der Apparat eignet sich zur Demonstration des Absorptions- und Emissionsvermögens beispielsweise von Kleiderstoffen.

Ueber andere Differentialthermometer vergleiche man die citirte Mittheilung L. Pfaundler's in den Wiener Berichten.

Literatur zum Luftthermometer.

L. W. Andrews: Eine neue für chemische Zwecke geeignete Form des Luftthermometers. Ber. der deutsch. chem. Ges. 1881. Jahrg. 14, p. 2116. (Für Temperaturen zwischen 300° und 580° geeignet.)

Berthelot: Nouveau thermomètre pour les températures supérieures au point d'ébullition du mercure. Ann. de chim. et de phys. 1868, 4 Sér., T. 13, p. 144; Abänderung: daselbst T. 15, p. 413; auch Dingler's polytechn. Journal 1868, Bd. 188, p. 257 und 1869, Bd. 191, p. 455.

J. Bosscha: Ueber die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers und den Gang des Quecksilberthermometers, verglichen mit dem des Luftthermometers nach Versuchen von Regnault. Ann. der Phys. und Chem. Ergänzungsband 5, 1871, p. 446.

J. T. Bottomley: On a practical constant-volume air-thermometer. Philosophical Magazine 1888, Vol. 26, p. 149. (Schwefelsäure als Sperrflüssigkeit.)

H. L. Callendar: Thermometer D. R.-P. Nr. 62796, Kl. 42 vom 19. Juni 1891.

J. M. Crafts: Sur une nouvelle forme de thermomètre à air. Annales de chim. et de phys. 1878, Sér. 5, T. 14, p. 409, 2 Fig. (Mit elektrischem Kontakt.)

Derselbe: On the use of mercury thermometers wich particular reference to the determination of melting and boiling points. Americ. chem. Journal 1884, 5, p. 307—338.

H. Dufour: Thermomètre différentiel de démonstration. Journal de Phys. 1883 (2), Vol. 2, p. 321.

J. A. van Eyk: Thermometer zum Gebrauche bei öffentlichen Vorlesungen. Dingler's polytechn. Journal 1862, T. 166, p. 28.

R. Fuess: Ueber eine anomale Erscheinung an Luftthermometern mit Metallgefässen von grosser Oberfläche. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1885, Jahrg. 5, p. 274.

Gay-Lussac: Thermomètre à air. Annales de chim. et de phys. 1832, T. 51, p. 435, Pl. II, Fig. 2.

G. Grassi: Nuovo termometro a gas atti a misure piccolissime variazioni di temperatura. Rend. della R. Accad. delle Sc. Fis. e Mat. di Napoli, Jan. und Jun. 1885. (Theorie des Luftthermometers und Beschreibung einer besonderen Konstruktion desselben; Amylalkohol als Sperrflüssigkeit.)

Fr. Grützmacher: Reduktion der Angaben von Quecksilberthermometern aus Jenaer Glas 59III und 122III, sowie aus Resistenzglas auf das Luftthermometer. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1895, Jahrg. 15, p. 250.

L. Grunmach: Vergleichung von Quecksilberthermometern mit dem Luftthermometer. Thermometrische Untersuchungen, herausg. von W. Förster, Berlin 1881.

L. Holborn und W. Wien: Ueber die Messung hoher Temperaturen. Zeitschrift f. Instrumentenkunde 1892, Jahrg. 12, p. 258 und 296.

Ph. Jolly: Ueber die Ausdehnungskoeffizienten einiger Gase und über Luftthermometer. Annal. d. Phys. u. Chem. 1874, Jubelband, p. 82, mit Taf. II, Fig. 5, 6 und 7.

H. Jüptner von Jonstorff: J. Wiborgh's Luftpyrometer. Oesterr. Zeitschrift für Berg- u. Hüttenwesen, Bd. 36, p. 603.

M. Koppe: Eine einfache Form des Luftthermometers. Zeitschrift für physikal. u. chem. Unterricht 1893, Bd. 6, p. 127.

H. Lemke: Ueber die Reduktion der Quecksilberthermometer aus dem Jenaer Borosilicatglase 59III auf das Luftthermometer in den Temperaturen zwischen 100° und 200°. Zeitschrift f. Instrumentenk. 1899, Jahrg. 19, p. 33.

J. Leslie: A short account of experiments and instruments depending on the relation of air to heat and moisture. Edinburgh 1813. Deutsch von H. W. Brandes, Leipzig, Kummer 1823.

G. Magnus: Ueber die Ausdehnung der Gase durch die Wärme. Annal. der Phys. u. Chem. 1842, Bd. 55, p. 1.

D. Mazzotto: Una modificazione al termometro ad aria. Nuovo cimento 1891 (3), T. 29, p. 142.

Loth. Meyer: Ein kleines Laboratoriumsluftthermometer. Ber. der deutsch. chem. Ges. 1893, Jahrg. 26, p. 1047, mit 1 Fig. im Text. (Verbesserung des Luftthermometers von Bottomley. Wirkungsweise des Instrumentes beruht auf dem Gesetz, dass das Produkt aus dem Druck und dem Volumen eines Gases der absoluten Temperatur proportional ist. Die Rechnung liefert absolute Temperaturen, die aber leicht durch Subtraktion von 272,6 (273) auf die Celsiusskala reduzirt werden können. Für hohe Temperaturen zeigt das Thermometer etwas zu niedrig.)

F. Miller: Ein Luftthermometer. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1882, Jahrg. 2, p. 357. (Zur Ausführung wurde im Allgemeinen die durch von Jolly angegebene und durch Pfaundler abgeänderte Form benutzt).

E. Mitscherlich: Ueber den Gebrauch des Luftthermometers. Abhdlg. der kgl. Akad. der Wiss. in Berlin 1833, p. 425. Gesammelte Schriften, herausg. von A. Mitscherlich, Berlin, Mittler und Sohn, 1896, p. 326.

F. C. G. Müller: Selbstkorrigirendes Luftthermometer. Zeitschrift für physikal. und chem. Unterricht 1894—95, 8. Jahrg., p. 308.

J. R. Erskine Murray: On a new form of constant-volume air-thermometer, which shows the total pressure directly and may be gratuated in degrees by temperature. Proc. Roy. Soc. Edinburgh 1897, Vol. 21, p. 299. (Zwischen dem Luft- und Quecksilberbehälter befindet sich eine geschlossene Glasröhre, in die das Quecksilber hineinragt. Dasselbe nimmt einen bestimmten Stand ein und erlaubt die Temperatur direkt abzulesen).

A. Penot: Sur un thermomètre à demeure propre à indiquer la température des cuves de teinture à la vapeur. Bulletin de la Soc. indstr. de Mulhouse 1831, T. 4, p. 215, Taf. 48, Fig. 1 und 2.

O. Pettersson: Ein Luftthermometer. Journal für prakt. Chemie 1882, Jahrg. 25, p. 102. (Prinzip: Ablesung eines Luftvolumens bei konstantem Druck. Unabhängigkeit von den Schwankungen des äusseren Luftdruckes. Temperaturumfang gegen 300°, Temperaturbestimmung auf $^1/_{100}$°. Anfertigung bei Geissler's Nachf. F. Müller in Bonn).

L. Pfaundler in Müller-Pouillet's Lehrb. der Physik u. Meteorolgie, Bd. 2, Abthlg. 2, p. 118, Braunschweig, Vieweg & Sohn 1879.

Derselbe: Ueber Differential-Luftthermometer (mit 2 Tafeln). Wiener Akad Ber. 1875, Bd. 72, Abthlg. 2, p 729.

V. Regnault: Untersuchung über die Ausdehnung der Gase. Annalen der Phys. u. Chem. 1842, Bd. 55, p. 391 und 557.

Derselbe: Sur la comparaison du thermomètre à air avec le thermomètre à mercure. Annales de chim. et de phys. 1842, Sér. 3, T. 5, p. 83.

F. Rudberg: Zweite Reihe von Versuchen über die Ausdehnung der trockenen Luft zwischen 0° und 100°. Annalen d. Phys. u. Chem. 1838, Bd. 44, p. 119.

Rumford: An enquiry concerning the nature of heat, and the mode of its communication. Philos. Transact. 1804, P. 1, p. 77 (99).

H. Schneebeli: Sur le thermomètre à air, arrangé en vue de la détermination de temp. élevées pour la pratique. Archives de Genève 1882 (3), T. VIII, p. 244 und 1883 (3), T. 9, p. 355. (Der Druck der eingeschlossenen Luft wird durch ein Metallmanometer gemessen, welches durch eine Bleikapillare mit dem Luftthermometer verbunden ist. Zwischen der Bleikapillare und der elastischen Platte des Manometers befindet sich Glycerin.)

Weinhold: Ueber die Messung hoher Temperaturen. Programm der Chemnitzer Gewerbeschule 1873.

B. Weinstein: Ueber die Reduktion von Angaben von Gasthermometern auf absolute Temperaturen. Inaug.-Diss. Berlin 1881 und Metronom. Beiträge der ksl. Normal-Aichungskommission 1881, Nr. 3.

H. F. Wiebe und A. Böttcher: Vergleichung des Luftthermometers mit Quecksilberthermometern aus Jenaer Glas zwischen 100 und 300°. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1890, Jahrg. 10, p. 16 und 233. (1. Beschreibung von zwei neuen Luftthermometern nebst Hülfsapparaten mit 5 Figuren. 2. Die Versuche und ihre Ergebnisse.)

J. G. Wiborgh: Verfahren und Apparat zur Bestimmung von Temperaturen und des Barometerstandes. D. R.-P. Nr. 43958 vom 20. Januar 1888.

Otto Zabel: Thermometer und Pyrometer mit selbstthätiger elektrischer Signalvorrichtung. Dingler's polytechn. Journ. 1870, Bd. 195, p. 236 (mit Fig. 16 und 17, Tab. 4).

Anderweitige Gasthermometer.

b) Anderweitige Gasthermometer.

Statt der Luft können auch andere Gase als thermometrische Substanz in Gasthermometern benutzt werden: J. M. Crafts verwandte Wasserstoff; H. Sainte-Claire Deville und Troost benutzten zur Messung hoher Temperaturen Wasserstoff-, Kohlensäure- oder Stickstofffüllung. L. Cailletet bediente sich zur Messung tiefer Temperaturen eines Wasserstoffthermometers.

K. Olszewski versuchte zu demselben Zwecke ausser Wasserstoff noch Stickstoffoxyd, Stickstoff und Sauerstoff als thermometrische Substanz anzuwenden. M. P. Chappuis stellte Untersuchungen über Wasserstoff-, Stickstoff- und Kohlensäurethermometer an, und H. Kamerlingh Onnes hat mit einem Wasserstoffthermometer grosse Genauigkeit in der Messung tiefer Temperaturen erzielt. — Der Gang der verschiedenen Gasthermometer stimmt aber keineswegs überein. L. Holborn und W. Wien haben das Luftthermometer mit dem Wasserstoffthermometer bis etwa — 190° verglichen und gefunden, dass ersteres bei — 189,9° um 0,7°, bei — 186,4° um 0,5° zu tief anzeigte. Die genannten Forscher geben an, dass das Wasserstoffthermometer noch unterhalb — 200° ein zuverlässiges Instrument sei.

Hier reihen wir noch einige Thermometer an, in denen gesättigte Dämpfe enthalten sind.

Dampfdruckthermometer.

R. Pictet hat vorgeschlagen, zur Temperaturmessung die Spannung zu benutzen, welche die Dämpfe von gewissen Flüssigkeiten (flüssige Kohlensäure, flüssiges Schwefeldioxid, flüssiges Stickoxydul u. a.) ausüben. Er nannte die nach diesem Prinzip eingerichteten Instrumente Thermodynamometer. Dasselbe Prinzip ist bei dem sogenannten Thalpotasimeter (gr. τὸ θάλπος die Wärme, Hitze, Gluth) verwendet worden. Die Thalpotasimeter beruhen auf der Messung der Spannung, welche die gesättigten Dämpfe von Flüssigkeiten bei den zu messenden Temperaturen zeigen und bestehen aus einem, dem Wärmeeinfluss auszusetzenden, theilweise mit Flüssigkeit gefüllten Behälter (Rohr) von sehr widerstandsfähigem Material und aus einem mit demselben verbundenen Manometer, dessen Skala jedoch nicht die Drucke, sondern die dazu gehörigen Temperaturen in Celsiusgraden abzulesen gestattet. Die Instrumente werden mit Wasser-, Aether- oder Quecksilberfüllung von der Firma Schäffer und Budenberg in Buckau-Magdeburg geliefert. Auf ähnlichen Grundsätzen beruhen auch die Dampfdruckthermometer von W. Thomson und Perrier. Auch der Quecksilberdampf wird zur Temperaturmessung benutzt. Die Glaskühlöfen des Glaswerks von Schott und Genossen in Jena werden beispielsweise mittels eines Quecksilberdampfdruckthermometers selbstthätig regulirt.

Literatur:

L. Cailletet: Nouveau thermomètre à gaz. Compt. rend. 1888, T. 106, p. 1055, mit 1 Fig. im Text.

M. P. Chappuis: Etudes sur le thermomètre à gaz et comparaison des thermomètres à mercure avec le thermomètre à gaz. Mém. du Bureau intern.

des poids et mesures, T. 6, Paris, Gauthier-Villars & Fils 1888 und Arch. de Genéve 1888 (3), T. 20, p. 5, 153, 248.

J. M. Crafts: Sur l'emploi des thermomètres à gaz. Compt. rend. 1888, T. 106, p. 1222.

Ch. Ed. Guillaume: Sur la mesure des températures très basses. Arch. de Genève 1888, T. 20, p. 396.

L. Holborn und W. Wien: Ueber die Messung tiefer Temperaturen. Annalen der Physik und Chemie 1896, N. F. Bd. 59, p. 213.

H. Kamerlingh Onnes: Ueber die Messung von sehr niedrigen Temperaturen. Zittingsversl. Kon. Akad. v. Wet. Amsterdam 1896/97, p. 37 und 79. (Cit. nach Beibl. zu den Annal. d. Phys. u. Chem. 1897, Bd. 21, p. 21.)

K. Olszewsky: Ueber die Dichte des flüssigen Methans etc. III. Vergleichung der Gasthermometer bei niedrigen Temperaturen. Annalen der Phys. u. Chem. 1887, N. F. Bd. 31, p. 69.

H. Sainte-Claire Deville et L. Troost: Sur la détermination des températures élevées. Compt. rend. 1880, T. 90, p. 727.

Dieselben: De la détermination des hautes températures. Daselbst p. 773.

L. Perrier: Manomètre à tension de vapeur pour analyser les liquides et mesurer les pressions. Compt. rend. 1880, T. 91, p. 538.

R. Pictet et G. Cellérier: Méthode générale d'intégration continue d'une fonction numérique quelconque etc. Archives des Sciences phys. et nat. 1878, T. 64, p. 185 ff. (p. 189 Mém. 1. Un nouveau thermographe).

W. Thomson: On a constant pressure gas thermometer. Proceed. Roy. Soc. Edinburgh 1880, Vol. 10, p. 539 (mit Abbildung auf p. 541).

3. Metallthermometer.

Diese Apparate beruhen auf der verschiedenen Ausdehnung verschiedener, mit einander mechanisch verbundener oder verlötheter Metalle. Um die Wirkung der Ausdehnung leicht wahrnehmbar zu machen, wird sie in geeigneter Weise auf Zeiger übertragen, deren Bewegungen auf einer empirisch hergestellten Skala ablesbar sind. Mit Uebergehung einiger älterer Instrumente beschränken wir uns auf die Beschreibung folgender drei (zu vergl. den histor. Abschn.).

Metallthermometer von Hermann und Pfister.

Ein von der Firma Hermann und Pfister in Bern konstruirtes Metallthermometer, welches zugleich ein Maximum- und Minimumthermometer ist, zeigt Fig. 225.

Die aussen aus Stahl, innen aus Messing verfertigte Spirale *ss* ist mit ihrem inneren Ende durch eine Schraube an dem metallenen Träger *t* befestigt. Ihr äusseres freies Ende ist mit dem Stift *st* verbunden. Bei steigender Temperatur dehnt sich der Messingstreifen stärker als der Stahlstreifen aus und die Spirale erweitert sich daher. Der Stift *st* drückt alsdann gegen den Knopf *k* und schiebt den Zeiger *Z* nach links. Bei sinkender Temperatur verengert sich die Spirale, der Stift *st* bewegt sich nach rechts, lässt den Zeiger *Z* auf dem Temperaturmaximum stehen, drückt gegen den Knopf k_1

und schiebt den Zeiger Z_1 nach rechts, wo derselbe, das Temperaturminimum anzeigend, bei erneuertem Temperaturanstieg stehen bleibt. Bei jeder neuen Einstellung bringt man die beiden Zeiger zur Deckung. Behufs Ablesung der jeweilig herrschenden Temperatur hat man nur nöthig einen der beiden Zeiger an den Stift *st* anzulegen. Die Eintheilung der bogenförmigen Skala *CC* wird durch Vergleich mit einem

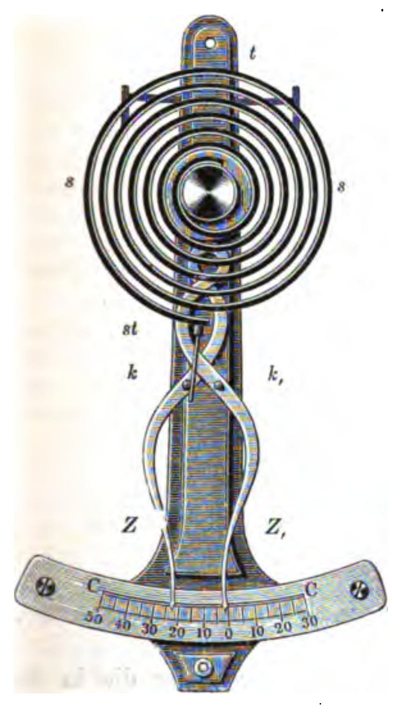


Fig. 225. Maximum- und Minimumthermometer aus Metall von Hermann u. Pfister. Erklärung der Bezeichnungen im Text.



Fig. 226. Taschenmetallthermometer in natürlicher Grösse. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Quecksilberthermometer angefertigt. Eine allenfalls eintretende Nullpunktsveränderung kann durch Verstellung der Spirale korrigirt werden.

Metallthermometer von Wrench. **Ueber Wrench war Biograph. nicht zu finden.**

Ein anderes Metallthermometer ist das, ursprünglich von W r e n c h angegebene T a s c h e n- oder Q u a d r a n t t h e r m o m e t e r, welches Fig. 226 zeigt. Ein auf der Innenfläche aus Kupfer, auf der Aussenfläche aus Stahl bestehendes kreisförmig gebogenes Band *f g h* ist mit seinem Ende *f* befestigt. Das freie Ende *h* wirkt mittels des Hakens *t* auf den Zapfen *p* des um die Axe *o* drehbaren Hebels *a o b*, der den gezahnten Bogen *cd* trägt. Dieser bewegt mittels

eines Zahnrädchens den Zeiger *z* in der Richtung von *f* nach *g*, sobald sich das Metallband beim Erwärmen streckt. Bei sinkender Temperatur bewirkt die Spirale *ss* eine Drehung des Zeigers in entgegengesetzter Richtung. Da die Abbildung das Instrument von der Rückseite darstellt, ist die Kreistheilung, vor welcher der Zeiger spielt, nicht sichtbar.

Bréguet's Metallthermometer. Louis François Clement Bréguet, geb. 22. Dez 1804 in Paris, Uhrmacher und seit 1874 Mitglied der Pariser Akad., gest. 27. Oktbr. 1883 in Paris.

Eines der empfindlichsten Metallthermometer ist das in Fig. 227 dargestellte Instrument von Bréguet. Bei demselben kommen drei

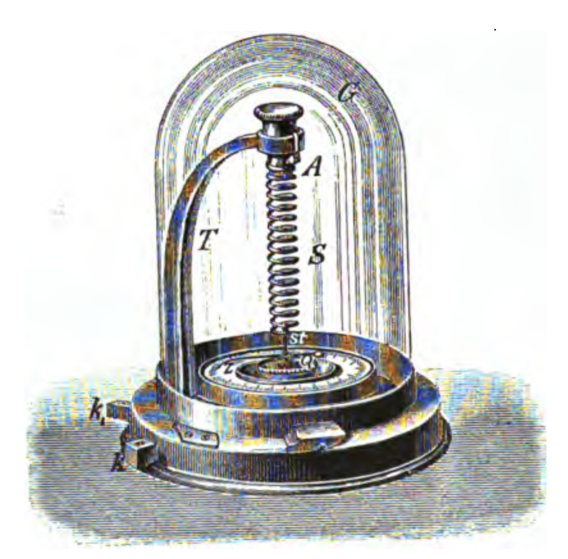


Fig. 227. Bréguet's Metallthermometer. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Metallstreifen: Silber, Gold und Platina zur Verwendung, die in der Art mit einander verlöthet sind, dass sich das Gold zwischen dem stärker ausdehnbaren Silber und dem weniger ausdehnbaren Platina befindet. Aus dem dünn ausgewalzten Metallband wird eine Spirale *S* verfertigt, deren eines Ende *A* an dem messingenen Träger *T* befestigt wird, während das andere freie Ende mit Hülfe des Stiftes *st* den Zeiger *z* trägt, der in horizontaler Lage über einer Kreistheilung schwebt. Temperaturveränderungen bewirken in Folge der ungleichen Ausdehnung der drei Metalle, dass sich die Spirale erweitert oder verengert, wodurch der Zeiger um eine, der Temperaturveränderung entsprechenden Anzahl Grade gedreht wird. Auch bei diesem Instrumente wird die Skala mit Hülfe eines Quecksilberthermometers festgelegt. Um die durch galvanische Ströme erzeugte Wärmeentwickelung zu messen, taucht der Stift *st* in den mit Quecksilber

gefüllten Napf Q, welcher mit der metallenen Klemme k in leitender Verbindung steht, so dass ein hier eintretender Strom durch die Spirale und den Träger zu der mit letzterem verbundenen Klemme k_1 geht. Das ganze Instrument wird in passender Weise mit der Glasglocke G bedeckt.

Neuerdings sind zahlreiche, den beschriebenen Instrumenten mehr oder weniger ähnliche Metallthermometer von C. Admiraal, O. Möller, E. W. Upton, L. Fromm, J. Sudmann u. A. hergestellt worden.

Aerztliches Metallthermometer von Immisch.

Der Mechaniker Moritz Immisch in London (D. R.-P. Nr. 19785 vom 16. Juli 1881) verfertigt Maximum-Metall-Zeigerthermometer für den ärztlichen Gebrauch. Diese Instrumente haben die Grösse und Form einer Damenuhr, sie können bequem in die Axelhöhle gelegt werden. Der wichtigste Theil ist eine mit Alkohol gefüllte, luftdicht verschlossene Bourdonröhre, welche bei Temperaturzunahme sich in Folge der Flüssigkeitsausdehnung streckt und bei Temperaturabnahme sich stärker krümmt. Die Bewegung wird mittels eines Zahnsektors und Triebrades auf einen Zeiger übertragen, der sich arretiren und somit auf der höchsten Temperatur feststellen lässt.

Meldometer.

Endlich sei noch das sogenannte Meldometer (griech. μέλδω ich lasse schmelzen) hier erwähnt, welches neuerdings von W. Ramsay und N. Eumorfopaulos zur Bestimmung des Schmelzpunktes chemischer Verbindungen benutzt wurde. Das Instrument besteht aus einem durch kleine Federn straffgespannten Platinstreifen von ungefähr 1 mm Breite. Schickt man einen elektrischen Strom hindurch, so erhitzt sich der Streifen und dehnt sich aus. Die Verlängerung wird mit Hülfe einer Mikrometerschraube gemessen und daraus auf die Temperatur geschlossen, welche erforderlich ist, um eine Spur des auf den Streifen gebrachten und mit dem Mikroskop beobachteten Untersuchungsmaterials zu schmelzen.

Literatur:

C. Admiraal: Zeigermetallthermometer. D. R.-P. Nr. 56865, Kl. 42, vom 10. Juli 1890.

Bréguet: Nouveaux thermomètres métalliques. Annales de chim. et de Phys. 1817, T. 5, p. 312, Fig. 4.

L. Fromm: Metallthermometer mit Regulirung der Federspannung. D. R.-P. Nr. 50345 vom 24. Juli 1889.

O. Möller: Kompensationsplattenthermometer. D. R.-P. Nr. 59764, Kl. 42, vom 1. Mai 1891.

Chr. Oechsle: Pyrometer. Dingler's polyt. Journal 1861, Bd. 160, p. 112.

De Prony: Ueber das Metallthermometer von Bréguet. Dingler's polyt. Journ. 1824, Bd. 13, p. 250.

W. Ramsay and N. Eumorfopaulos: On the determination of high temperatures with the Meldometer. Phil. Mag 1896, Vol. 41, Nr. 251, p. 360.

J. Sudmann: Metallthermometer. D. R.-P. Nr. 43719, Kl. 42, vom 27. Oktober 1887.

E. W. Upton: Metallthermometer. D. R.-P. Nr. 34158, Kl. 42, vom 3. Juni 1885.

Wrench: Verbessertes Taschenthermometer. Dingler's polyt. Journal 1831, Bd. 41, p. 102 (aus dem London Journal of Arts and sciences Dez. 1830. p. 161).

II. Messung der Temperatur durch Aenderung des Aggregatzustandes.

Bestimmung der Temperatur aus dem Schmelzpunkt von Legirungen.

Das Verfahren, welches von Prinsep (Pogg. Ann. Bd. 14, p. 529) herrührt, beruht auf der Anwendung von Legirungen, deren Schmelzpunkt bekannt ist. Von den zur Verwendung gelangenden Legirungen können beispielsweise kleine Stücke in halbkugelförmigen Vertiefungen einer Eisenstange der zu messenden Temperatur ausgesetzt werden, der Schmelzpunkt der am schwersten schmelzbaren Legirung, welche bei der betreffenden Temperatur noch flüssig wird, giebt deren Grad an. M. Heeren verwendet zur Aufnahme der Legirungen mehrere, an einer Eisenstange befestigte eiserne Schälchen, von denen immer eine den Deckel der anderen bildet. Die Schmelzpunkte der einzelnen Legirungen liegen beispielsweise 10 bis 20 Grad aus einander und werden durch Zahlen, die im Boden der Schale eingravirt sind, angegeben. In der, nach dem Schmelzen wieder erstarrten Masse der Legirung findet man die Gradzahl abgedrückt. Zur Aufnahme von Legirungen, die schwerer als Eisen schmelzen, müssen natürlich geeignete Vorrichtungen verwendet werden. Die Gold- und Silberscheideanstalt vormals Rössler in Frankfurt a. M. bringt Stücke von Metallen und Legirungen, deren Schmelzpunkt zwischen 315 und 1385 Grad liegt, behufs Gebrauches für Temperaturmessungen in den Handel. Besondere auf Schmelzung von Legirungen beruhende Pyrometer wurden von Ducomet, Büchner u. A. angefertigt.

G. Wolffhügel hat das Schmelzen von Legirungen in Verbindung mit einer Signalvorrichtung in Bezug auf Brauchbarkeit zur Temperaturbestimmung in Desinfektionsapparaten untersucht und solche Legirungsmetallthermometer mit Quecksilberthermometern verglichen. Hierbei stellten sich bedeutende Abweichungen des Schmelzpunktes von Legirungen gleicher Art ein. Auch ergab sich, dass manche Legirungen das Signal, wenn die Erwärmung langsam anstieg, bei niedrigerer Temperatur gaben, als wenn sie rasch erwärmt wurden.

Interessant ist, dass der Schmelzpunkt im Dampfbade zumeist höher als im Wasserbade gefunden wurde.

Seger's Normalkegel.

Um die Temperatur in Porzellanöfen und Gasretorten zu bestimmen, hat H. Seger aus verschiedenen Glasurgemischen von Feldspath, Marmor, Quarz, Kaolin und Eisenoxyd kleine Tetraeder, sogenannte Normalkegel hergestellt, durch deren Schmelzung Temperaturen bis über 1100° gemessen werden können. Cramer und Hecht haben durch Zusatz von Borsäure (Bd. I, p. 448) auch Kegel für mittlere Temperaturen angefertigt. Hecht hat 58 solcher Kegel: Nr. 022 bis 36 für Temperaturen von 590 bis 1850° hergestellt.

Literatur:

E. Büchner: Ueber Temperaturen in den Ultramarin- (Muffel-) Oefen und ein neues Pyrometer. Dingler's polyt. Journ. 1879, Bd. 232, p. 431, Tab. 38, Fig. 1—4.

E. Cramer: Schmelzkegel für mittlere Temperaturen. Wagner-Fischer's Jahresbericht über die Leistungen der chem. Technolg. 1892, N. F. Jahrg. 23, p. 639.

Ducomet: Portef. économ. des machines, T. 9, p. 65.

H. Hecht: Schmelzkegel für niedere Temperaturen. Thonindustriezeitung 1895, p. 73 und Wagner-Fischer: Jahresbericht 1895, N. F. Jahrg. 26, p. 747.

M. Heeren: Apparat zur Temperaturbestimmung. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Red. Ziebarth 1876, Bd. 20, p. 314, Taf. 14, Fig. 6.

H. Seger: Legirungen zur Messung von Temperaturen. Thonindustrie-Zeitung 1885, p. 104 und 121, und Wagner-Fischer: Jahresbericht 1885, N. F. Jahrg. 16, p. 370.

Derselbe: Normalkegel etc. Thonindustriezeitung 1886, p. 135 und 230 und Wagner-Fischer: Jahresbericht 1886, N. F. Jahrg. 17, p. 540.

G. Wolffhügel: Ueber Meldethermometer für Desinfektionsapparate. Verhdlg. d. Ges. deutsch. Naturf. u. Aerzte, 69. Vers. zu Braunschweig 1897. Leipzig: Vogel 1898, II. Theil, 2. Hälfte, p. 282.

III. Akustische Temperaturmessung.

Cagniard-Latour und Demonferrand haben die Temperatur aus der Aenderung der Tonhöhe einer Orgelpfeife zu bestimmen versucht. A. M. Meyer berechnete bei seinem akustischen Pyrometer die Temperatur, unter Beihülfe eines manometrischen Flammenmikrometers, aus den durch Erwärmung hervorgerufenen Abweichungen in der Anzahl von Wellenlängen einer in Röhren eingeschlossenen Luftsäule. J. Chautard suchte den Apparat zu vereinfachen, hielt ihn aber mehr für ein wissenschaftliches Kuriosum als für praktisch anwendbar.

Akustische Pyrometer.

S. Tolver Preston schlug vor, in den Raum, dessen Temperatur bestimmt werden soll, eine Resonanzröhre in der Art einzuführen, dass ihre Mündung herausragt. Die Tonhöhe derjenigen Stimmgabel, für welche die Röhre, vor deren Mündung die Stimmgabel gebracht wird, am stärksten mittönt, soll dann der Quadratwurzel aus der absoluten Temperatur proportional sein. Es kann entweder eine an Länge unveränderliche Röhre und eine Stimmgabel von justirbarer Tonhöhe, oder aber eine Röhre von veränderlicher Länge und eine unverstellbare Stimmgabel angewandt werden. Im ersteren Falle ist die absolute Temperatur dem Quadrate der Schwingungszahl, im letzteren Falle dem Quadrate der Röhrenlänge proportional.

E. Sandford hat statt der Resonanzröhre mit Stimmgabel eine, durch einen Luftstrom ins Tönen gebrachte, geschlossene Röhre zu Temperaturmessungen verwandt. Bei Temperaturen zwischen 0° und 80° ergaben in Wasser angestellte Messungen eine Uebereinstimmung mit den Bestimmungen durch das Quecksilberthermometer bis auf 3 bis 4 Grad.

G. Quincke hat ein von ihm erdachtes akustisches Thermometer zur Bestimmung von Temperaturen zwischen 100° und 750° benutzt und brauchbar gefunden. Bei diesem Instrument wird die Temperatur einer Luftmasse mit der Schallgeschwindigkeit in dieser Luft oder der Wellenlänge eines Tones von konstanter Tonhöhe bestimmt. Die Wellenlänge wird mit einem Millimetermaassstabe an einem, aus feuerfestem Material angefertigten, der zu bestimmenden Temperatur ausgesetzten Interferenzapparat gemessen. Derselbe besteht aus zwei geraden Röhren: dem an einem Ende geschlossenen weiteren Interferenzrohr und einem beiderseits offenen engeren Hörrohr, welches in dem Interferenzrohr verschiebbar ist, und dessen freies Ende durch einen Kautschukschlauch mit dem Ohre des Beobachters in Verbindung gesetzt wird. Als Tonquelle dienen in Schwingungen versetzte, auf hölzernem Resonanzkasten befestigte Stimmgabeln. Behufs Ausführung einer Temperaturbestimmung richtet man den Resonanzkasten mit seiner Oeffnung gegen die Mündung der Interferenzröhre, schiebt in diese das Hörrohr so tief als möglich hinein, legt die Millimeterskala daran, zieht darauf das Hörrohr allmählich aus dem Interferenzrohr hervor und liest die Verschiebung oder die Länge der Luftsäule zwischen dem Boden des Interferenzrohres und dem Ende des Hörrohres an der Skala ab. Die Tonstärke ist ein Maximum, Minimum, Maximum etc., wenn die Länge der abgelesenen Strecke 0, 1, 2, 3 etc. Viertelwellenlängen des betreffenden Tones beträgt. Bei einiger Uebung lässt sich die Streckenlänge bis auf 0,1 mm genau bestimmen. Aus der Schwingungszahl der Stimmgabel, der Schallgeschwindigkeit, der Wellenlänge des Tones, der Länge der Luftsäule für dieselben Maxima und Minima der Tonstärke bei T° und 0° und dem thermischen Ausdehnungskoëffizienten der Luft lässt sich die fragliche Temperatur berechnen.

Literatur:

Cagniard-Latour et Demonferrand: Description et usages du pyromètre acoustique. Compt. rend. 1836, T. 3, p. 391 und T. 4, p. 28.

J. Chautard: Pyromètre acoustique. Compt. rend. 1874, T. 78, p. 128. Annalen der Physik und Chemie 1874, Bd. 153, p. 158.

Alfred Marshall Meyer: Ueber ein akustisches Pyrometer. Annalen der Physik und Chemie 1873, Bd. 148, p. 287, mit Taf. 4, Fig. 12.

S. Tolver Preston: Acoustic Thermometer — a Suggestion. Phil. Mag. 1891 (5), Vol. 32, p. 58.

G. Quincke: Ein akustisches Thermometer für hohe und niedrige Temperaturen. Annalen der Physik und Chemie 1897, N. F. Bd. 63, p. 66.

E. Sandford: An acoustic Pyrometer. The physical Review 1893, Vol. 1, p. 141.

Neuerdings hat J. Wiborgh (Vereinsblatt d. deutsch. Ges. f. Mechanik und Optik, 1896, p. 152) ein Verfahren zur Temperaturmessung ersonnen, bei welchem Aggregatzustandsänderungen mit einem durch Explosion hervorgerufenen Knall verbunden sind.

Nach besonderer Vorschrift werden cylindrische Thonkörper (Fig. 228) von 30 mm Länge und 18 mm im Durchmesser angefertigt, in denen mittels einer kleinen kupfernen Kapsel ein ungefährlicher Explosionskörper eingeschlossen ist. Wird ein solcher Thoncylinder in den Raum gebracht, dessen Temperatur gemessen werden soll, so dringt die Wärme allmählich in das Innere des Cylinders ein, wobei der Explosivstoff unter Veränderung seines ursprünglichen Aggregatzustandes und unter lautem Knall Zersetzung erleidet. Wegen der durch die Wärmewirkung hervorgerufenen Explosion hat Wiborgh der Vorrichtung den Namen Thermophon beigelegt. Die Zeit bis zur Explosion ist um so kürzer, je höher die Temperatur liegt. Durch die längere oder kürzere Zeitdauer wird die Temperatur bestimmt, und es ist daher nur erforderlich die Zeitdauer von dem Augenblicke an, in welchem das Thermophon an seinen Platz gelangte, bis zur eintretenden Explosion mit einem Sekundenzähler genau festzustellen und dann die Temperatur auf einer beigegebenen Tabelle abzulesen. Jedes Thermophon muss bei seiner Anwendung eine Temperatur von 18—22° C. haben; man kann damit dann Temperaturen von 300° C. bis 2400° C. bestimmen, wie aus der Tabelle auf p. 60 ersichtlich ist.

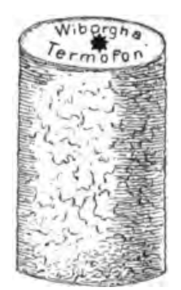


Fig. 228. Wiborgh's Thermophon; der cylindrische Thonkörper in natürlicher Grösse.

Wiborgh's Thermophon.

Bei der Temperaturbestimmung in Flammenöfen, Muffelöfen, Schornsteinen etc., oder in allen Fällen, in denen das Thermophon auf einem festen Gegenstande ruht und von heissen Gasen umgeben ist, wird die Temperatur nach Tab. I abgelesen. Zur Bestimmung der Temperatur des Windes der Hochöfen wird in die Windleitung ein beiderseits offenes Rohr aus Kupfer oder Eisen mit 2 bis 2,5 mm Wandstärke eingeführt und in etwas geneigter Lage befestigt. Durch die eine Rohröffnung schiebt man eine mit Teller versehene Eisenstange bis zur Mitte des Rohres, lässt dann das Thermophon durch die andere Oeffnung bis auf den Teller gleiten und schliesst die letztere Oeffnung durch einen angeketteten Deckel.

Nach der Explosion, durch welche der Deckel abgeworfen wird, liest man die Temperatur des Gebläses aus Tab. I ab. Zur Ermittelung der Temperatur

Tables
for determining temperatures by the **Wiborgh Thermophone.**

I. Time			II. Time			Temperature		I. Time			II. Time			Temperature	
Min.	Sec.	1/5 Sec.	Min.	Sec.	1/5 Sec.	Cels.	Fahr.	Min.	Sec.	1/5 Sec.	Min.	Sec.	1/5 Sec.	Cels.	Fahr.
3	24	3	2	52	0	300	572	—	44	3	—	35	1	1120	2048
2	57	3	2	21	0	320	608	—	44	1	—	34	4	1140	2084
2	37	3	2	5	0	340	644	—	43	3	—	34	3	1160	2120
2	22	3	1	53	3	360	680	—	43	1	—	34	1	1180	2156
2	10	0	1	43	3	380	716	—	42	3	—	33	4	1200	2192
2	0	3	1	36	0	400	752	—	42	1	—	33	2	1220	2228
1	57	0	1	29	0	420	788	—	41	4	—	33	0	1240	2264
1	45	0	1	23	3	440	824	—	41	3	—	32	4	1260	2300
1	39	3	1	19	3	460	860	—	41	0	—	32	2	1280	2336
1	34	0	1	15	0	480	896	—	40	3	—	32	0	1300	2372
1	29	0	1	11	0	500	932	—	40	1	—	31	4	1320	2408
1	25	3	1	8	3	520	968	—	39	4	—	31	3	1340	2444
1	22	0	1	5	3	540	1004	—	39	2	—	31	1	1360	2480
1	18	3	1	3	0	560	1040	—	39	1	—	31	0	1380	2516
1	15	3	1	0	3	580	1076	—	38	4	—	30	4	1400	2552
1	13	3	—	59	0	600	1112	—	38	3	—	—	—	1420	2588
1	11	0	—	57	0	620	1148	—	38	2	—	—	—	1440	2624
1	8	3	—	55	0	640	1184	—	38	0	—	—	—	1460	2660
1	6	3	—	53	3	660	1220	—	37	3	—	—	—	1480	2696
1	5	0	—	52	0	680	1256	—	37	2	—	—	—	1500	2732
1	3	0	—	50	1	700	1292	—	37	1	—	—	—	1520	2768
1	1	3	—	49	3	720	1328	—	36	4	—	—	—	1540	2804
1	0	4	—	48	1	740	1364	—	36	3	—	—	—	1560	2840
—	59	3	—	47	0	760	1400	—	36	2	—	—	—	1580	2876
—	58	1	—	46	0	780	1436	—	36	0	—	—	—	1600	2912
—	57	0	—	45	1	800	1472	—	35	4	—	—	—	1620	2948
—	56	0	—	44	1	820	1508	—	35	3	—	—	—	1640	2984
—	54	4	—	43	2	840	1544	—	35	2	—	—	—	1660	3020
—	53	4	—	42	3	860	1580	—	35	0	—	—	—	1680	3056
—	53	0	—	42	0	880	1616	—	34	4	—	—	—	1700	3092
—	52	0	—	41	1	900	1652	—	34	3	—	—	—	1720	3128
—	51	1	—	40	3	920	1688	—	34	2	—	—	—	1740	3164
—	50	2	—	40	0	940	1724	—	34	1	—	—	—	1760	3200
—	49	3	—	39	1	960	1760	—	34	0	—	—	—	1780	3236
—	49	0	—	38	3	980	1796	—	33	4	—	—	—	1800	3272
—	48	1	—	38	1	1000	1832	—	33	0	—	—	—	1900	3452
—	47	3	—	37	3	1020	1868	—	32	1	—	—	—	2000	3632
—	46	4	—	37	1	1040	1904	—	31	2	—	—	—	2100	3812
—	46	1	—	36	3	1060	1940	—	30	3	—	—	—	2200	3992
—	45	3	—	36	1	1080	1976	—	30	1	—	—	—	2300	4172
—	45	1	—	35	4	1100	2012	—	29	3	—	—	—	2400	4352

flüssiger Metalle taucht man ein einerseits geschlossenes, gezogenes Eisenrohr von 2 bis 3 mm Wandstärke und 30 mm innerem Durchmesser mit dem geschlossenen Ende in die geschmolzene Masse, lässt das Thermophon nach etwa 3 Minuten in das Rohr gleiten und entnimmt die Temperatur nach der Explosion aus Tab. II. Zur Temperaturmessung von Metall- und Schlackenbädern von sehr hoher Temperatur wirft man das Thermophon auf die Oberfläche des Bades und liest die Temperatur nach Tab. I ab.

Für Deutschland, Belgien und Frankreich sind die Thermophone durch Franz Müller (Geissler's Nachf.) in Bonn a. Rh. in Schachteln zu 50 Stück nebst Tabelle zum Preise von 11 Mark zu beziehen.

IV. Optische Temperaturmessung.

Zur Messung hoher Temperaturen glühender Körper hat A. Crova eine optische Methode vorgeschlagen, welche in der Vergleichung der Intensität zweier Lichtquellen mittels eines Spektralphotometers besteht. Behufs Feststellung der entsprechenden Temperatur der Lichtquelle benutzte Crova ein Luftthermometer aus Porzellan als strahlenden Körper.

Pyrometrisches Sehrohr.

Mesuré und Nouel suchten die Temperatur glühender Oefen mit Hülfe eines Polarisationsapparates zu ermitteln, in welchem sich ein drehbares analysirendes Nicol'sches Prisma befindet. Beobachtet man durch den Apparat einen glühenden Körper, so sieht man das von ihm ausgestrahlte Licht, bei langsamer Drehung des Analysators, in bestimmten, je nach der Temperatur verschiedenen Farben.

Beim Eintreten einer (citronengelben) Uebergangsfarbe zwischen Grün und Roth hört man mit dem Drehen des Analysators auf und beobachtet den Stand eines Zeigers, welcher während der Drehung an einer Gradtheilung vorübergeht. Der Zeiger giebt den, der Temperatur des glühenden Körpers entsprechenden Grad an. Auf der Hütte St. Jacques in Monluçon, wo das „pyrometrische Sehrohr“ zuerst praktische Verwendung fand, wurde Folgendes festgestellt:

40	Theilstriche	der	Kreisscheibe	entsprechen	900°	C.;	das	Glühen	erscheint	kirschroth
45	„	„	„	„	1000°	„	„	„	„	hellroth
52	„	„	„	„	1100°	„	„	„	„	dunkelorange
61	„	„	„	„	1200°	„	„	„	„	hellorange
62	„	„	„	„	1300°	„	„	„	„	weiss

Le Chatelier hat mit Hülfe eines von ihm abgeänderten Cornu'schen Apparates zur Messung der Strahlungsintensität bei monochromatischem Lichte Temperaturbestimmungen ausgeführt, und D. Berthelot hat unter Anwendung eines Interferenzapparates eine Methode zur Temperaturmessung ersonnen, welche auf der Thatsache fusst, dass der Brechungsindex eines Gases für eine bestimmte Dichte

desselben immer der gleiche ist, welches auch die Temperatur und der Druck des Gases sei.

Literatur: D. Berthelot: Sur une nouvelle méthode pour la mesure des températures. Compt. rend. 1895, T. 120, p. 831.

A. Crova: Sur la mesure optique des hautes températures. Compt. rend. 1892, T. 114, p. 941.

H. Le Chatelier: Sur la mesure optique des températures élevées. Journal de Physique 1892, 3 Sér., T. 1, p. 185.

Mesuré et Nouel: Lunette pyrométrique, Comptes-rendus mensuels des réunions de la Société de l'industrie minérale; Juin 1890, p. 129, Pl. 14, Fig. 1 und 2. Séance tenue á Montluçon. le 10 nov. 1889. Ref. Dingler's polyt. Journ. 1889, Bd. 272, p. 361.

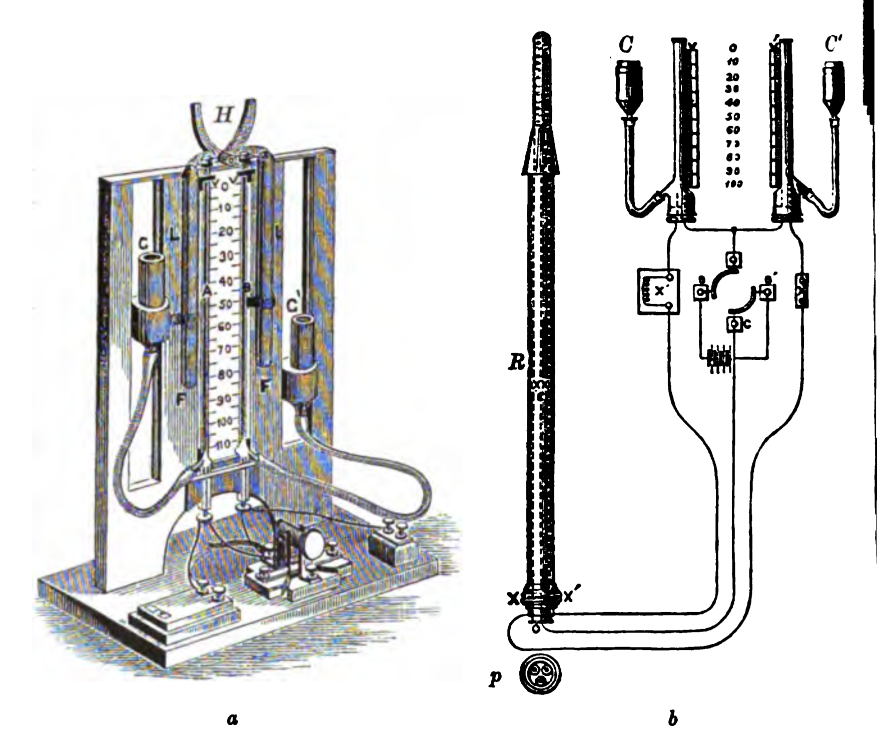


Fig. 229 *a* und *b*. Elektrisches Pyrometer von C. W. Siemens. *a* der Messapparat. *b* Anordnung der Leitungen. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

V. Elektrische Temperaturmessung.

a) Messung der Temperatur durch Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes. Die Möglichkeit Temperaturen auf elektrischem Wege zu bestimmen beruht auf dem Um-

stande, dass der Leitungswiderstand der Metalle für den elektrischen Strom von der Temperatur abhängig ist und zwar mit steigender Temperatur wächst. Ist daher der Widerstand irgend eines Leiters bei 0° gegeben, so lässt sich berechnen, wie gross derselbe bei 100°, 1000° etc. ist, und umgekehrt: wenn der Widerstand bekannt ist, so lässt sich daraus die Temperatur ermitteln.

Elektrisches Pyrometer von Siemens.

Eines der zuverlässigsten elektrischen Pyrometer wurde von C. W. Siemens angegeben. Bei diesem Instrument ist der metallische Leiter ein feiner Platindraht von bestimmtem Widerstande. Dieser Draht ist in doppelt angeordneter Spirale um einen Cylinder von feuerfestem Thon gewickelt. Behufs Isolirung liegen die Drahtwindungen in einer schraubenförmigen Rinne. Der Thoncylinder ist in einer eisernen Röhre (Fig. 229 *b*, *R*) untergebracht, welche an dem Ende, wo sich der Cylinder befindet, geschlossen ist. Das eine Ende der Platindoppelspirale ist mit einem, das andere Ende mit zwei Leitungsdrähten noch innerhalb der eisernen Röhre verbunden. Auch für die Leitungsdrähte dienen Thonröhren zur Isolirung. Die drei Leitungsdrähte verlaufen gegen das offene Ende der Eisenröhre, welches jedoch durch eine mit metallener Fassung versehene Thonplatte (Fig. 229 *b*, bei *p* gesondert gezeichnet) verschlossen werden kann. Drei Klemmschrauben in dieser Platte dienen zur Aufnahme der Drähte. Zwischen der Einlage des Eisenrohres und dessen Innenwand befinden sich eine Platinhülse sowie ein Asbestmantel als Schutzvorrichtung. Von den Klemmschrauben der Thonplatte führen drei weitere Leitungsdrähte zu dem Messinstrumente. Dieses ist ein Differentialvoltameter. Dasselbe (Fig. 229 *a* und *b*) besteht aus zwei gleichweiten Glasröhren (in Fig. 227 *a* mit *A* und *B* bezeichnet), die vor einer Skala befestigt sind, deren Theilstriche unter sich gleichen, übrigens willkürlichen Abstand besetzen. Der bei der Betrachtung der Figur links gelegene Theil der Skala ist mit *v*, die rechts gelegene mit *v'* bezeichnet. Die oberen Enden der Röhren tragen Kautschukkissen, welche mittels einer, mit den durch Hülsen geführten Gewichten *L* und *L'* belasteten Hebelvorrichtung *H* in ihrer Lage erhalten werden. In den unteren erweiterten und geschlossenen Abschnitt der Röhren *A* u. *B* (Fig. 229 *a* u. *b*) befinden sich die Elektroden. Zwei mit verdünnter Schwefelsäure (1 Thl. Säure auf 9 Thl. Wasser) gefüllte, in einem Holzschlitten befindliche und mit diesem an dem Gestell verschiebbare Glascylinder *CC'* stehen durch Kautschukschläuche mit dem unteren Abschnitt der Glasröhren in Verbindung. Entfernt man die Kautschukkissen von den Röhren und verschiebt man die Cylinder mit ihren Schlitten in geeigneter Weise, so lässt sich das Flüssig-

keitsniveau in den Röhren mit dem in den Cylindern in gleiche Höhe bringen.

Der Strom einer galvanischen Batterie wird in zwei Zweige getheilt. Jeder Zweigstrom geht durch eine Voltameterröhre, der eine überdies noch durch einen bekannten, der andere durch einen zu messenden Widerstand. Da die Stromstärken in den beiden Zweigen den Widerständen umgekehrt, und da die in den Voltametern entwickelten Gasmengen den Stromstärken direkt proportional sind, so ergiebt sich aus dem Verhältniss der in den Voltametern entwickelten Gasmengen das umgekehrte Verhältniss der Widerstände. Der Widerstand jedes Voltameters nebst den zugehörigen Leitungsdrähten beträgt drei, der in den einen Zweig der Leitung eingeschaltete konstante Widerstand siebenzehn Siemenseinheiten.

Bezeichnet man die in diesem Zweige entwickelte Gasmenge mit V, die in dem anderen Zweige entwickelte Gasmenge mit V′ und den in den zweiten Zweig eingeschalteten unbekannten Widerstand mit R, so ist $(17 + 3) : (R + 3) = V' : V$, also $R = 20 \frac{V}{V'} - 3$.

Ueber die Anordnung der Leitungen giebt Fig. **229** *b* Aufschluss.

Die Voltameterröhre vor der Skala *v* ist mit dem Widerstand von 17 Einheiten verbunden, der sich in der Holzplatte *x′* befindet. Das Voltameter vor der Skala *v′* steht in Verbindung mit der Klemmschraube *x*. Ausserdem sind beide Voltameterröhren mit der hinteren Klemmschraube eines Stromwenders verbunden. Zu den beiden seitlichen Klemmschrauben des letzteren führen die Batteriedrähte.

Von der vorderen Klemmschraube *c* des Stromwenders führt ein Leitungsdraht zu der entsprechenden Klemmschraube der Verschlussplatte des Eisenrohres. Auch sind die Schrauben von *x′* und *x* des Messapparates mit den ebenso bezeichneten Klemmschrauben der Verschlussplatte in Verbindung. Der zwischen *x′x′*, und der zwischen *c* und der zugehörigen Verschlussplattenklemmschraube sich ausspannende Draht ist mit dem einen Ende der Platinspirale im Eisenrohr, der zwischen *xx* befindliche Draht ist mit dem anderen Ende der Platinspirale in Verbindung.

Um das Pyrometer in Thätigkeit zu setzen, lässt man, nach Herstellung der Verbindungen, die Flüssigkeit in den Voltameterröhren bis zum Theilstriche Null emporsteigen, während man durch passende Stellung des Stromwenders den Strom unterbricht. Hierauf setzt man das mit einem Schutzcylinder versehene Eisenrohr der zu messenden Temperatur aus und schliesst den Strom. Zur Vermeidung ungleicher

Polarisation an den Elektroden kehrt man den Strom während der Beobachtung in Zwischenräumen von 10—15 Sekunden um. Sobald sich jede der beiden Voltameterröhren bis über die Hälfte mit Gas gefüllt hat, unterbricht man den Strom und senkt die Glascylinder soweit, dass die Flüssigkeit in jedem derselben mit der in der zugehörigen Voltameterröhre in gleicher Höhe steht. Man liest nun auf den Skalen v und v' die entwickelten Gasmengen ab und sucht in einer für den Apparat hergestellten Tabelle in den ebenfalls mit v und v' bezeichneten Spalten die betreffenden Zahlen.

In dem Schnittpunkte zweier von diesen Zahlen ausgehend gedachten Linien findet man den Widerstand der Spirale und die entsprechende Temperatur der Wärmequelle in rothen und schwarzen Ziffern angegeben.

Um das Voltameter in grösserer Entfernung von der Wärmequelle aufstellen zu können, sind die Leitungsdrähte zwischen den Klemmen der Verschlussplatte des Eisenrohres und den Klemmen des Messapparates zu einem Kabel vereinigt. Das Siemens'sche Pyrometer findet Anwendung zur Temperaturbestimmung in Hochöfen und anderen Schmelzwerken. Auch zur Messung der Erdwärme in Bohrlöchern hat man es benutzt, und bei der Challengerexpedition diente es zur Temperaturermittelung der Meerestiefen.

K. W. Siemens 1822—1883.

Karl Wilhelm (Sir Charles William) Siemens wurde in Lenthe bei Hannover (Landkreis: Linden) nicht, wie vielfach angegeben wird, im Jahre 1822, sondern nach der Encyclopaedia britannica 1887, Vol. 22, p. 37, die mit dem Lenther Kirchenbuche übereinstimmt, 1823 und zwar am 4. April als Sohn des Obergutspächters Christian Ferdinand Siemens geboren. Er studirte in Göttingen und siedelte 1844 nach England über, wo er in London eine Telegraphen-Werkstatt in Firma: Siemens Brothers & Co. gründete. Er war Mitinhaber der Firma Siemens und Halske in Berlin. Mit seinem Bruder Ernst Werner Siemens legte er zahlreiche unterseeische Kabellinien und gründete mehrere Stahlwerke in England. Er starb am 19. November 1883 in Kensington Gardens London W. Ueber das Leben und die wissenschaftlichen Leistungen von Siemens schrieb William Pole unter dem Titel: „Wilhelm Siemens" ein werthvolles, hochinteressantes, 1890 bei Springer in Berlin erschienenes Buch.

Statt des Voltameters schaltet J. Spohr (Dingler's polyt. Journ. 1885, Bd. 257, p. 315) beim Siemens'schen Pyrometer ein Telephon ein. Andere Widerstandsthermometer sind von W. A. Nippoldt, A. W. Witkowski, H. L. Callendar, E. H. Griffiths und G. M. Clark, R. Appleyard, H. F. W. Burstall und Anderen hergestellt worden.

Die elektrischen Widerstandsthermometer sind, besonders mit Benutzung der Wheatston'schen Brücke, äusserst empfindliche Instrumente.

Literatur: R. Appleyard: A „direct-reading" Platinumthermometer. Phil. Mag. 1896, Vol. 41, p. 62.

H. F. W. Burstall: The measurement of cyclically varying temperature. Phil. Mag. 1895, Vol. 39, p. 282.

H. L. Callendar: On the Construction of platinum thermometers. Phil. Mag. 1891 (5), Vol. 32, p. 104.

Derselbe: Some experiments with a platinum pyrometer on the melting-points of gold and silver. Phil. Mag. 1892 (5), Vol. 33, p. 220.

Ferd. Fischer: Ueber Thermometer und Pyrometer. Dingler's polytechn. Journ. 1877, Bd. 225, p. 272 und 463.

E. H. Griffiths and G. M. Clark: Note on the Determination of low temperatures by platinumthermometers. Phil. Mag. 1892 (5), Vol. 34, p. 515 und Proceed of the philos. Soc. of Cambridge 1893, Vol. 8, p. 2. (Sind R_1, R_0 und R die Widerstände eines Platindrahtes bei 100°, 0° und t°, so gelten, wenn p_t die durch den Widerstand gemessene Temperatur ist, die Formeln:

$$pt = \frac{R - R_0}{R_1 - R_0} \cdot 100 \text{ und } t - pt = \delta \left[\left(\frac{t}{100}\right)^2 - \frac{t}{100}\right],$$

wo δ eine für jedes Instrument bestimmte Konstante ist. Die Temperatur, bei der R = 0 ist, der absolute Nullpunkt, ergiebt sich zu 273,86°, im Mittel zu 273,9°. Die Verfasser halten die Platinthermometer zur Bestimmung tiefer Temperaturen für sehr geeignet).

W. A. Nippoldt: Elektrisches Thermometer. D.R.P. Nr. 40789 vom 23. Nov. 1886.

C. W. Siemens: Das elektrische Pyrometer. Referat in Dingler's polyt. Journal 1873, Bd. 209, p. 419 mit Abbildung auf Taf. 6 und 1875, Bd. 217, p. 291. mit 2 Abbildg. im Text.

A. W. Witkowski: Thermomètre électrique pour les basses températures. Anzeiger der Akademie der Wissenschaften in Krakau 1891, Mai Nr. 5, p. 188.

b) Thermoelektrische Temperaturmessung. Nach L. Holborn und W. Wien sind Widerstandspyrometer für sehr hohe Temperaturen nicht mehr zuverlässig, weil sich kein Material auffinden lässt, welches dann noch genügende Isolirfähigkeit beibehält. Ein zweiter Uebelstand besteht darin, dass die Widerstandsrolle eine verhältnissmässig bedeutende Ausdehnung besitzt und deswegen nur zur Messung der mittleren Temperatur grösserer Räume benutzbar ist, während häufig das Bedürfniss vorliegt, die Temperatur eines eng begrenzten Raumes zu ermitteln. Ganz frei von diesen Mängeln ist das Thermoelement. Es stellt geringe Anforderungen an die Isolirung, weil nur unbedeutende elektrische Spannungen auftreten. Der Widerstand fällt bei Benutzung der Kompensationsmethode ganz aus. Endlich kann man die Löthstellen beliebig klein machen und daher die Temperatur sehr kleiner Räume bestimmen.

Thermoelektrisches Pyrometer von Le Chatelier.

Ein zweckmässiges Thermoelement zur Messung hoher Temperaturen hat Le Chatelier angegeben. Dasselbe besteht aus einem Platindraht und einem Drahte einer zehnprozentigen Platinrhodiumlegirung. Beide Drähte sind nicht verlöthet, sondern nur mechanisch innig mit einander verbunden. Die Drahtkuppelung befindet sich, durch Cylinder von feuerfestem Thon gehalten, in einer eisernen Röhre von 13 mm innerem Durchmesser. Zur besseren

Handhabung ist an dem Eisenrohr ein Holzstiel angebracht. Die Bestimmung der auf das Thermoelement einwirkenden Temperatur geschieht mit Hülfe eines d'Arsonval'schen, von Le Chatelier umgeformten Reflexionsgalvanometers. — W. C. Heraeus, Keiser und Schmidt haben unter dem Beistande von Holborn und Wien das Le Chatelier'sche thermoelektrische Pyrometer etwas abgeändert. Die Drähte des Thermoelementes (Fig. 230 *A*), welches in verschiedenen Dimensionen ausgeführt wird, sind durch Porzellankapillaren isolirt

Thermoelektrisches Pyrometer von Heraeus, Keiser und Schmidt.

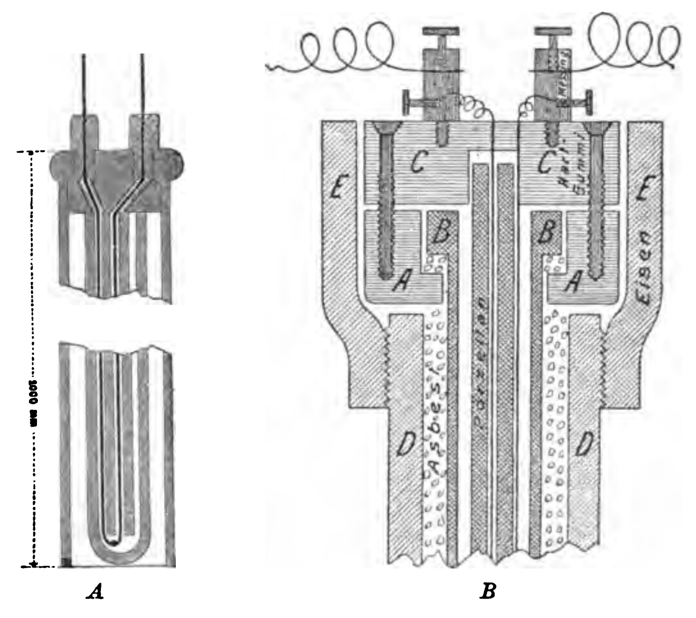


Fig. 230. *A* Le Chatelier's verbessertes thermoelektrisches Pyrometer. *B* Neuere Konstruktion des thermoelektrischen Pyrometers. System: Heraeus, Keiser und Schmidt. Bezeichnungen im Text.

und gegen Heizgase und Kohle durch glasirte Porzellanröhren geschützt. Neuerdings wird die Zusammensetzung des Elementes (Fig. 230 *B*) in folgender Weise ausgeführt:

Eine mit centraler Bohrung versehene Hartgummischeibe *A* ist von unten über das äussere Porzellanrohr geschoben. Diese Scheibe nimmt in einer Aussparung die ringförmige Verstärkung *B* des Porzellanrohrs auf. Zwischen *A* und *B* wird eine Schicht Asbestschnur gelegt. Eine zweite Hartgummischeibe *C* enthält zwei feine Löcher zum Durchziehen der Elementdrähte und eine Vertiefung zur Aufnahme des herausstehenden Endes der Porzellan-Kapillare. Diese

zweite Hartgummischeibe *C* ist mittels dreier Messingschrauben mit der Hartgummischeibe *A* derartig verschraubt, dass das Ganze fest mit den Porzellanröhren verbunden ist. Auf der Hartgummischeibe *C* befinden sich zwei Klemmschrauben, welche die Element- und Leitungs-Drähte aufnehmen. Das äussere Porzellanrohr wird mit Asbestschnur umwickelt und in ein Eisenrohr *D* eingeschoben. Letzteres ist am unteren Ende mit einer abnehmbaren Kappe versehen. Am oberen Ende ist eine Muffe *E* angeschraubt, in welcher mittels dreier Eisenschrauben der Hartgummi-Kopf des montirten Elements befestigt ist.

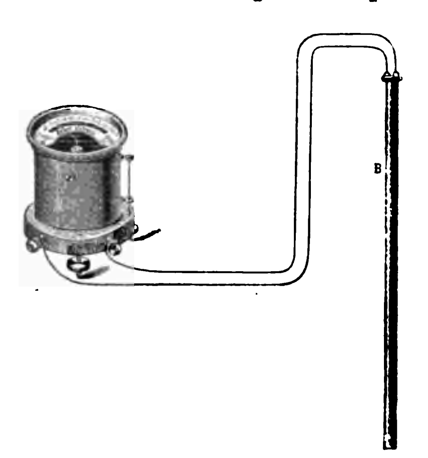


Fig. 230 *C*. Verbindung des Thermoelementes mit dem Galvanometer.

Die Skala des Galvanometers (Fig. 230 *C*) (zu vergl. die cit. Abhdlg. von Holborn und Wien, p. 306 im Anhang) ist direkt in Celsiusgrade getheilt und reicht bis + 1500° bezw. + 1600°. Um die Angaben des Instrumentes stets kontrolliren zu können, ist ausser der Theilung in Temperaturgraden auch noch eine Theilung in Volt vorhanden. Unsere Fig. 230*C* zeigt das Thermoelement *B* in Verbindung mit dem Galvanometer. Der Knopf an der Dose desselben dient zur Einstellung des Zeigers auf den Nullpunkt der Skala. Bei der Aufstellung muss das an der Dose angebrachte Loth genau im Mittelpunkte des unteren Ringes hängen. Vergleichende Untersuchungen von Holborn und Wien haben dargethan, dass sich das thermoelektrische Pyrometer vorzüglich bewährt. Das Instrument ist auch zur Messung tiefer Temperaturen, beispielsweise der Temperatur der flüssigen Luft, brauchbar. Für solche Zwecke besteht das Thermoelement aus Eisen-Constantan, und das Galvanometer wird mit einer Skala von + 100° bis — 240° versehen. Die Firmen Keiser und Schmidt in Berlin W., Johannisstr. 20 und Siemens und Halske in Berlin liefern diese Apparate namentlich an die Gesellschaft von Linde's Eismaschinen in Wiesbaden-München.

Literatur:

H. Le Chatelier: De la mesure des températures éleveés par les couples thermo-électriques. Journal de physique 1887 (2), T. 6, p. 23.

Derselbe: Sur les températures développées dans les foyers industriels. Compt. rend. 1892, T. 114, p. 470.

W. C. Heraeus, Keiser und Schmidt: Ein technisches Pyrometer. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1895, Bd. 15, p. 373.

L. Holborn und W. Wien: Ueber die Messung sehr hoher Temperaturen. Annalen der Physik und Chemie 1892, N. F. Bd. 47, p. 107 mit Taf. 1, Fig. 4 bis 9.

Dieselben: Ueber die Messung hoher Temperaturen. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1892. Jahrg. 12, p. 257 u. 296 mit 7 Fig.

A. Stansfield: On some improvements in the Roberts-Austen recording pyrometer, with notes on thermoelectric pyrometry. Philos. Mag. 1898, Ser. V, Vol. 46, p. 59.

VI. Bestimmung der Temperatur durch Vertheilung der Wärme.

Um hohe Temperaturen, beispielsweise die von Gebläsewinden, zu bestimmen, hat man Apparate hergerichtet, in denen sich die heisse Luft mit kalter Luft mischt. Die Temperatur der Luftmischung wird mit Quecksilberthermometern bestimmt und aus dieser Bestimmung lässt sich dann die gesuchte Temperatur berechnen, nachdem durch Versuche festgestellt wurde, in welchem Verhältnisse dieselbe zu der vom Thermometer angegebenen Temperatur steht. Derartige Luftpyrometer wurden von Hobson, Fr. Krupp, E. H. Amagat und Anderen hergestellt. Ein Wasserpyrometer von Saintignon ist derartig eingerichtet, dass ein gleichmässiger Strom kalten Wassers, dessen Temperatur bekannt ist, durch eine der zu messenden Temperatur ausgesetzte Metall- oder Porzellanröhre kreist. Die Temperaturzunahme des Wassers wird wie beim Luftpyrometer ebenfalls durch ein Quecksilber-Thermometer gemessen und dann die gesuchte Temperatur berechnet. — Genauer lassen sich hohe Temperaturen dadurch bestimmen, dass die von einem festen Körper (Platin, Eisen etc.) aufgenommene Wärme, nachdem derselbe bis auf die zu messende Temperatur erhitzt wurde, gleichmässig auf eine bestimmte Menge Flüssigkeit vertheilt wird.

Luftpyrometer und Wasserpyrometer.

Kalorimetrische Pyrometer.

Bedeuten G und g das Gewicht, T und t die Temperatur und S und s die specifische Wärme (zu vergl. Bd. I, p. 537) des auf die zu messende Temperatur erhitzten Metallstückes und der angewandten Flüssigkeit (in der Regel Wasser), so ist nach eingetretenem thermometrischem Gleichgewichte die Temperatur der Flüssigkeit

$$x = \frac{G.T.S. + g.t.s}{G.S. + g.s} \text{ und}$$

folglich, wenn x durch das Quecksilberthermometer ermittelt wird

$$T = x + \frac{g.s(x-1)}{G.S}$$

Ist die angewandte Flüssigkeit, auf welche die Wärme vertheilt wird, Wasser mit s = 1, so ist

$$T = x + \frac{g(x-1)}{GS}$$

Für derartige calorimetrische Temperaturbestimmungen eignet sich das bereits in Kap. 26 E. erwähnte Calorimeter von Ferd. Fischer.

Literatur:

E. H. Amagat: Sur les pyromètres à circulation d'eau. Compt rend. 1883, T. 97, p. 1053.

Thos. Carnelley and Thos. Burton: A new Form of Pyrometer. Journal chemic. Soc. London 1884, p. 237. (Mit einer Schwarzdruck- und einer Kurventafel im Text).

J. C. Hoadley: The Platinum-Water pyrometer. Journal of the Franklin Inst. 1882, 3 Series, Vol. 94, p. 252. (Mit 2 Fig. im Text.)

Hobson: Pyrometer zur Bestimmung der Temperatur des heissen Gebläsewindes. Ref. aus Engineer vom Juni 1876, p. 484 in Dingler's polytechn. Journ. 1876, Bd. 222, p. 46, Taf. 1, Fig. 17.

Fr. Krupp: Verbesserungen zu dem Hobson'schen Apparat zur Bestimmung der Temperatur des heissen Gebläsewindes. D.R.P. Nr. 24624, Kl. 42, vom 7. April 1883.

Ch. Lauth: Sur le pyromètre de MM. Boulier frères. Bullet. de la Soc. Chim. de Paris. 1883, T. 40, p. 108.

Graf von Saintignon: Differentialpyrometer D.R.P. Nr. 5731 vom 22. Okt. 1878.

VII. Telethermometer und Registrirthermometer.

Um die ermittelte Temperatur eines Ortes auf weitere Entfernungen hin bekannt zu machen, sind sogenannte Telethermometer (gr. τῆλε adv. fern, in die Ferne), um sie auch noch graphisch zu verzeichnen, Registrirthermometer hergestellt werden. Für beide Zwecke werden die verschiedensten Arten von Thermometern benutzt. Derartige Instrumente finden in der Meteorologie auf Beobachtungsstationen, die nicht immer zugänglich sind, sowie in Krankenhäusern und Fabrikräumen mit Centralheizung Verwendung.

Telethermometer von Moennich.

P. Moennich (Rostock) beschrieb ein elektrisches Telethermometer, welches auf dem Prinzip des von ihm konstruirten Fernmessinduktors beruht, einer Vorrichtung, welche allgemeine Verwendung zur elektrischen Fernübertragung der Angaben von Messinstrumenten aller Art finden kann, sofern dieselben nur eine kleine drehende Zeigerbewegung auszuführen vermögen. In einer grösseren feststehenden Induktionsspule *S* (Fig. 231 *A*) ist, um die Axe drehbar, eine kleinere Spule *s* angebracht. Mit letzterer sind der Hebel *h* und der über eine Skala spielende Zeiger *z* durch die Axe *a* fest verbunden.

Je ein solches System befindet sich sowohl an dem Aufgabeort *A*, als auch auf der Empfangsstation *E* (dieselben Bezeichnungen mit Index). Das betreffende Messinstrument (in der Figur nicht gezeichnet) dreht vermittels des Hebels die kleinere Spule und den mit ihr fest verbundenen Zeiger, der also durch seine Stellung den Stand des Messinstrumentes erkennen lässt. Zwischen den Spulen S und S_1, sowie s und s, spannen sich die gut isolirten Leitungsdrähte L und l aus. B stellt eine Batterie, U einen elektromagnetischen Stromunterbrecher vor. Der in den kleinen Spulen induzirte Strom erreicht sein Maximum, wenn die Windungsebenen der kleinen und grossen

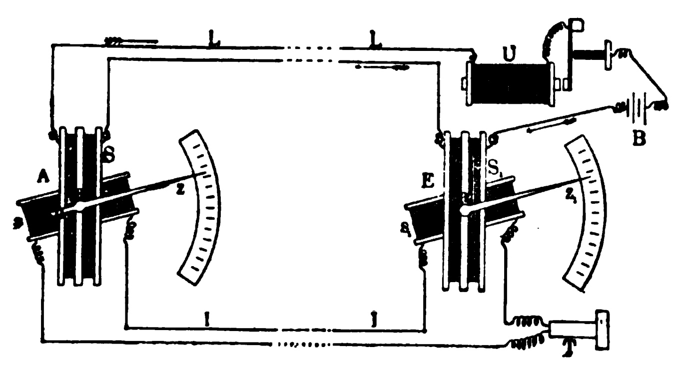


Fig. 231 *A*. Moennich's elektrisches Telethermometer. Konstruktion des Apparates. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Spulen parallel sind; er ist dagegen gleich Null, wenn die kleinen Spulen senkrecht zu den grossen stehen. Der Strom in den feststehenden Spulen wird durch den selbstthätigen Stromunterbrecher U intermittirend gemacht. Die induzirten Ströme in den kleinen Spulen sind gegen einander geschaltet. In dem Stromkreis befindet sich ein Telephon T, welches so lange ein rasselndes Geräusch hören lässt, als die in den kleinen Spulen induzirten Ströme einander nicht völlig gleich stark sind. Das Messinstrument, welches an dem Aufgabeort die kleine Spule in Drehung versetzt, ist ein zuverlässiges Metallthermometer, dessen Temperatur von dem Zeiger z angegeben wird. Das Geräusch im Telephon verstummt erst dann, wenn die Spule s_1 und mit ihr der Zeiger z_1 durch die Hand des Beobachters genau dieselbe Stellung einnehmen, wie an dem Aufgabeort und somit die Temperatur des letzteren anzeigen. Den fertig zusammengesetzten Apparat zeigt Fig. 231 *B*.

Ueber die Brauchbarkeit desselben vergleiche man die unten citirte Mittheilung von Th. Schorer.

Telethermometer von Eschenhagen. M. Eschenhagen in Potsdam hat eine Methode beschrieben, nach welcher man mit Hülfe eines Telephons oder Galvanometers die Temperatur, welche ein mit besonderen Einrichtungen versehenes Quecksilberthermometer anzeigt, auf beliebig weite, durch Leitungsdrähte erreichbare Entfernungen übertragen kann, ohne grössere Fehler als 0,1° C. zu machen. Durch das Quecksilberthermometer (Fig. 232) ist vom unteren Ende des Gefässes bis zum oberen Ende der Röhre ein sehr dünner Platindraht TT gezogen und in die Glaswand einge-

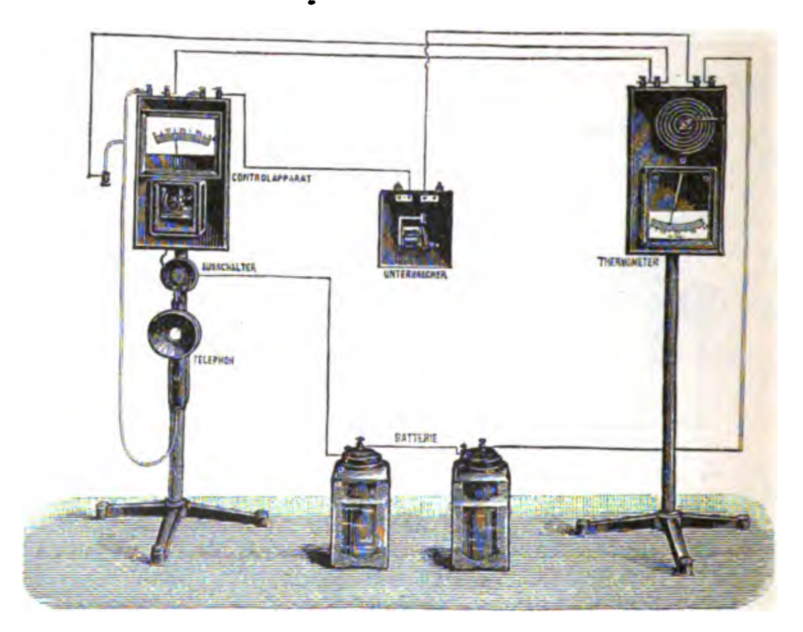


Fig. 231 *B.* Moennich's Telethermometer, Totalansicht.

schmolzen. Wenn der Querschnitt des Quecksilberfadens im Verhältniss zu dem des Platindrahtes genügend gross ist, so ist der Widerstand der metallischen Leitung im Innern des Thermometers im Wesentlichen von der Länge des Platindrahtes und damit auch von der Länge des Quecksilberfadens abhängig. Das Steigen und Fallen des Thermometers kann daher an einem entfernten, durch Leitungsdrähte mit den Enden des Platindrahtes verbundenen Ort angezeigt werden. Um die Aenderung des Widerstandes der Leitung auszuschliessen wird eine geschlossene Glaskapillare, welche dieselbe Weite und Länge hat wie die des Thermometers, neben diesem angebracht. Durch dieselbe wird ein Vergleichsplatindraht T^1T^1, und zwar von derselben Stärke wie TT gezogen. Am Beobachtungsorte werden die Widerstände dieser beiden Drähte durch eine Brückenschaltung mit Nullmethode verglichen, indem man dem Thermometerdraht so viel Widerstand zulegt, bis derselbe gleich dem des Vergleichsdrahtes geworden ist. Die Grösse der Zulage entspricht dann der

Länge des Quecksilberfadens, sobald das Geräusch im Telephon verschwindet, beziehungsweise das Galvanometer keinen Ausschlag giebt. Die Leitungsdrähte vom Beobachtungsorte nach dem Thermometer liegen so nahe bei einander, dass Witterungseinflüsse gleichmässig darauf einwirken; etwaige Widerstandsänderungen machen sich daher in beiden Stromkreisen bemerklich und das Endresultat bleibt unbeeinflusst.

Die Wheatstone'sche Messbrücke wird durch $A\ B\ C\ D$ dargestellt. Zwischen A und D, sowie A und B liegen je vierzig Ohm Widerstand. Bei B und C ist der Thermometerdraht $T\ T$, bei D und C sind der Vergleichsdraht $T^1\ T^1$ (in der Ausführung ca. 42 Ohm) und mehrere Zusatzwiderstandsdrähte nebst Gleitdraht eingeschaltet. G ist das Galvanometer beziehungsweise Telephon, E die Batterie. Der Gleitdraht besteht aus Constantan, einer Legirung, die gegen Temperatureinflüsse nahezu unempfindlich ist. Mit dem Gleitdraht ist eine Skala vereinigt. Auf derselben giebt ein verstellbarer Index beim Aufhören des Telephongeräusches die vom Thermometer angezeigte Temperatur an.

Fig. 232. Konstruktion von Eschenhagen's Telethermometer. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Telethermometer von Felix.

Ein elektrisches Fern- und Registrirthermometer hat S. Felix (Löbau in S.) angegeben. In dem Kapillarrohr *a* Fig. 233 (p. 74) des Thermometers bewegt sich bei Temperaturänderungen mit einer nichtleitenden Flüssigkeit ein Quecksilbertropfen, der die Verbindung zwischen je zwei gegenüberliegenden, in die Kapillare eingeschmolzenen Drahtenden herstellt. Durch Stromschluss wird ein Elektromagnet *h* erregt und ein Anker *g* entsprechend gedreht. Eine mit letzterem verbundene Nadel *m* zeigt alsdann die Temperatur auf einer Skala *n* an. Gleichzeitig schreibt der Stift *i* ein Diagramm des Temperaturganges auf eine sich drehende Trommel *l*. — Andere Telethermometer wurden von C. Th. Wagner, J. Puluj, F. Schwackhöfer, M. Berthold, Hartl und Anderen hergestellt. Ein Quecksilberthermometer, welches bei einer bestimmten Temperature in elektrisches Läutewerk in Thätigkeit setzt verfertigte L. Grumnach.

Literatur:

M. Berthold: Fernthermometer D.R.P. Nr. 51775 vom 6. Sept. 1889 (Zeitschrift für Instrumentenkunde 1891, Jahrg. 11, p. 38).

M. Eschenhagen: Ueber ein Quecksilberthermometer mit Fernbeobachtung durch elektrische Uebertragung. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1894. Jahrg. 14, p. 398.

S. Felix: Elektrisches Fern- und Registrirthermometer. D.R.P. Nr. 76685 (Kl. 42) vom 28. Juli 1893, Zeitschrift für Instrumentenkunde 1895, Jahrg. 15, p. 421.

R. Ferrini: Ein neuer Distanzindikator für Temperaturen. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1882, Jahrg. 2, p. 41 mit 3 Fig.

L. Grunmach: Ein elektrisches Kontaktthermometer. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1889, 9. Jahrg., p. 296 mit Abbildung.

Hartl: Differentialdampfspannungsthermometer mit Einrichtung zum Fern-

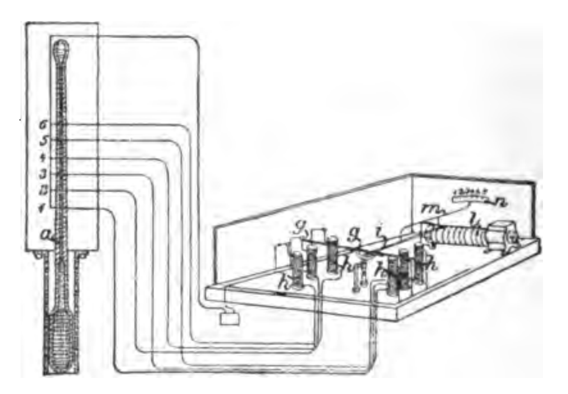


Fig. 233. Fern- und Registrirthermometer von S. Felix. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

melden der Temperatur. D.R P. Nr. 11042 (Kl. 42) vom 1. Mai 1891. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1891, Jahrg. 11, p. 308.

P. Moennich: Der Fernmessinduktor und seine Anwendung zur Uebertragung von Temperaturangaben. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1889. 9. Jahrg, p. 122.

J. Puluj: Telethermometer. Anzeiger der Wiener Akad. 1889, p. 201. (Das Instrument beruht auf der Anwendung zweier Leiter, die als thermometr. Substanz dienen und ihren Widerstand mit der Temperatur in entgegengesetztem Sinne ändern.)

K. Scheel: Ueber Fernthermometer. Halle a. S., Marhold 1898.

Th. Schorer: Ueber Moennich's Telethermometer. Sitzungsberichte des naturw. Vereines für Schleswig-Holstein 1893, p. 307.

F. Schwackhöfer: Fern- (Luft)-thermometer zur Bestimmung der mittleren Temperatur ausgedehnter Räume oder Körper. D.R.P. Nr. 50884 vom 28. Juni 1889. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1890. Jahrg. 10, p. 299 mit Abbildung.

C. Theod. Wagner: Telethermoindikator. D.R.P. Nr. 16559 vom 13. Jan. 1881. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1882 Jahrg. 2, p. 154. (Metallthermometer in Spiralform; durch Leitungsdrähte, ähnlich wie bei der Haustelegraphie, werden die Angaben desselben auf einen beliebigen Ort, wo die Temperatur abgelesen werden soll, übertragen.)

VIII. Historisches über Thermometer.

Der Grundbegriff der Wärmelehre, die Temperatur, konnte erst eine bestimmte Fassung erhalten, als das Thermometer erfunden und insbesondere das Luftthermometer nach dem Vorschlage Lambert's als Normalinstrument anerkannt worden war. Als Erfinder des Thermometers kommt einzig und allein Galilei in Betracht, wie aus Briefen des venetianischen Edelmannes Giovanni Francesco Sagredo, der mit Galilei in lebhafter Correspondenz stand, unzweifelhaft hervorgeht. Die Erfindung fällt nach Viviani's in einer Lebensbeschreibung Galilei's gemachter Angabe in die Zeit nach 1592. In der im Jahre 1744 in Padua veranstalteten Ausgabe der Galilei'schen Werke (3 Bd. Pensieri var. 444) findet sich ein Fragment, welches mit der Correspondenz Sagredo's in Zusammenhang zu stehen scheint, und in welchem Galilei selbst von seinem Thermometer spricht. Galilei's Instrument war ein Luftthermometer und bestand aus einer mit Kugel versehenen Röhre, die in eine Flüssigkeit (Wasser, Wein) eintauchte. Der Konstruktion lag also der Gedanke zu Grunde, die Volumveränderung der Luft bei Temperaturänderungen zur Messung der letzteren zu benutzen, und dieser Gedanke wurde auch in der Folgezeit weiter ausgebaut.

Erfindung des Thermometers durch Galilei.

G. F. Sagredo, Senator von Venedig zu Galilei's Zeiten.

Wir verfolgen daher zuerst die Geschichte des Luftthermometers. Statt die Kugelröhre in einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefässe umzukehren, wurde bei den sogenannten belgischen oder Drebbel'schen Thermometern (1605) eine Röhre mit unten angeblasener Phiole zur Aufnahme der Flüssigkeit gewählt.

Geschichte des Luftthermometers.

Auch Fludd (Philosophia Moysaica etc Goudae 1638 lib. 1, Cap. 2) der als Arzt verschiedene Länder, unter anderen auch Italien bereiste, stellte mit solchen Instrumenten, die er selbst angefertigt hatte, im Jahre 1617 Versuche an. Mersenne (Cogita. physico-mathematica Parisiis 1644, Vol. 2, p. 140) verfertigte Instrumente, bei welchen eine obere grössere und eine untere kleinere Kugel durch eine Glasröhre verbunden waren. In der Wand der unteren Kugel befand sich eine kleine Oeffnung. Wurde die Luft in der grösseren Kugel durch Erwärmung ausgedehnt und die kleinere Kugel in eine Flüssigkeit getaucht, so drang beim Erkalten und Zusammenziehen der Luft ein Flüssigkeitstropfen durch die genannte Oeffnung in die Röhre ein, in welcher er durch Temperaturunterschiede zum Steigen, beziehungsweise zum Sinken veranlasst wurde.

Robert Fludd, geb. 1574 zu Milgate (Kent), gest. 8. Sept. 1637 daselbst.

Mersenne's Thermometer.

Cornelius Drebbel wurde 1572 zu Alkmaar geboren. Er war vermögender Grundbesitzer, dann Lehrer der Söhne des deutschen Kaisers Ferdinand II. und kaiserlicher Rath, später war er am Hofe Jakob's I. thätig und starb 1634 in London. Die Ansprüche Drebbel's auf die Erfindung des Thermometers finden sich in dessen Buch: De natura elementorum etc. Hamburg 1621.

C. Drebbel 1572–1634.

Athanasius Kircher (Magnes, sive de arte magnetica Bd. 2, Colon. Agrip. 1643, Cap. 3, pars 2, p. 515) beschrieb Thermometer nach Art eines Heronsballes. Aehnliche Instrumente wurden von Boyle (Experiments touch. Cold. 1655. Disc. II, 2 p. 41), Fr. Lana (Magist. naturae et artis. Brixiae 1686, T. 2. p. 380) und Johann Swammerdam (Tract. de respiratione usuque pulmonum. Lugd. Batav. 1667, Cap. 3 § 11, p. 108) angegeben.

Thermometer von Kircher, Boyle, Lana und Swammerdam.

Athanasius Kircher wurde geb. am 2. Mai 1602 in Geisa bei Fulda, war Jesuit, Prof. der Mathematik, Philosophie und der hebräischen Sprache in Würzburg, zuletzt in Rom; er starb am 30. Oktober 1680 daselbst.

A. Kircher 1602–1680.

Farncesco Terzi de Lana wurde am 13. Dezember 1631 in Brescia geboren, war Jesuit und Lehrer der Mathematik und Philosophie daselbst; er starb am 26. Februar 1687 in Rom.

Lana 1631–1687.

Swammerdam 1637—1680.

Jan S. Swammerdam wurde 1637 in Amsterdam geboren, er war Naturforscher und Arzt; seine Bekanntschaft mit Antoinette Bourignon de la Porte führte ihn zu theologischen Studien, die er als Melancholiker und Mystiker beschloss, er lebte mit der Bourignon kurze Zeit in Schleswig und Hamburg und starb am 17. Februar 1680 in Amsterdam.

von Guericke's Thermometer.

Der Pater Kaspar Schott hat in seiner Technica curiosa 1664, Lib. 2, Cap. 13, p. 871 ein von Otto von Guericke aus Kupfer und Messing angefertigtes, mehrere Meter langes Instrument (Thermometrum novum Magdeburgicum s. mobile perpetuum) beschrieben. Die Beschreibung findet sich auch in v. Guericke's Experimenta nova, Amstelod. 1672, Lib. 3. Cap. 37. p. 122. Die Skalen der ersten Thermometer waren völlig willkürlich. An v. Guericke's Instrument befanden sich Bezeichnungen wie: magnus frigus, aër frigidus, temperatus, calidus, magnus calor etc. Bei Johann Christian Sturm (Collegium experimentale, Norimbergae 1676) findet sich zuerst ein Differentialthermometer abgebildet. Ein U-förmig gebogenes Rohr mit ungleich langen Schenkeln enthält eine Flüssigkeit und ist an dem Ende der beiden Schenkel kugelig aufgeblasen. Da das Instrument vollkommen geschlossen ist, so ist es den Einwirkungen des Luftdruckes, dessen Entdeckung durch Torricelli 1643 (zu vergl. Bd. I, p. 495) für die Anfertigung von Thermometern von Bedeutung wurde, entzogen. Sturm ist jedoch nicht der Erfinder dieses Thermometers, sondern vor ihm kannte es bereits Kaspar Schott (Mechanica hydraulico-pneumatica 1657, P. 2, p. 231, Annot. 1). Als Flüssigkeit in den Luftthermometern (Thermoskopen) wählte schon Kircher (Magnes. 1643 Ed. 2, II p. 515 und 516) gefärbten Weingeist und Quecksilber.

Sturm's Differentialthermometer.

Joh. Christoph Sturm, geb. 3. Nov. 1635 in Hippoltstein (Pfalz-Neuburg), anfangs Pastor in Deiningen, später Prof. der Mathem. u. Phys. in Altdorf, gest. 25. Dez. 1703 in Altdorf.

Kaspar Schott, geb. 1608 in Königshofen bei Würzburg, Jesuit, Prof. der Mathematik in Palermo, später in Würzburg, gest. 22. Mai 1666 in Würzburg.

Balthasar Monconys, geb. 1611 in Lyon, Arzt, bereiste ganz Europa und den Orient, gest. 28. April 1665 in Lyon.

Thermometrische Glaskugeln.

Der Grossherzog Ferdinand II. von Toscana sprach, wie Monconys (Journal des voiages etc. Lyon 1665—1666 Vol. 1, p. 130) berichtet, zuerst den Gedanken aus, grössere und kleinere, geschlossene und offene Glaskugeln, welche in Flüssigkeiten gebracht, je nach der Temperatur derselben, darin emporsteigen oder untersinken, zur Thermometrie zu benutzen.

Im Jahre 1649 sandte der Grossherzog derartige Kugeln an Raphael Magiotti und Athanasius Kircher in Rom mit der Bitte die räthselhafte Erscheinung zu untersuchen und zu erklären. Beide gaben eine richtige Erklärung; Magiotti in seiner Bd. I, p. 566 citirten Schrift, Kircher in seiner Ars magnetica Lib. 1, p. 1. Dasselbe Prinzip brachte Otto von Guericke bei seinem mobile perpetuum zur Anwendung.

Amontons' Verdienste um die Thermometrie.

Der Erste, welcher ein auf wissenschaftlicher Grundlage beruhendes Luftthermometer mit konstantem Luftvolumen herstellte und durch die Definition des absoluten Nullpunktes, sowie durch die richtige Fassung des Begriffes „Wärmegrad" als der Vater der wissenschaftlichen Thermometrie zu betrachten ist, war Amontons. Die Wärme hielt er für eine Art der Bewegung, welche von besonderen „parties du feu", womit er wohl Aetheratome meinte, auf die Massentheilchen übertragen wird (Hist. de l'acad. Roy. des Sciences 1702 p. 173 und 1703, p. 50).

Amontons' Thermometer (1695) bestand aus einem U-förmig gebogenen Glasrohr mit zwei ungleich langen Schenkeln. Der kürzere Schenkel endete mit einer geschlossenen, Luft enthaltenden Glaskugel, der längere Schenkel war offen und ragte um eine 45 Zoll überschreitende Länge über den untersten Punkt der Glaskugel empor. „Die Länge von 45 Zoll war deswegen gewählt, weil, wenn die Kugel in siedendes Wasser getaucht und so viel Quecksilber in den offenen Schenkel gebracht wurde, dass dasselbe bis zum untersten Punkt der Kugel stieg.

im offenen Schenkel das Quecksilber diese Höhe zeigte.“ Die auf den Siedepunkt des Wassers erwärmte Luft in der Kugel stand dann bei einem Barometerstand von 28 Zoll unter dem Drucke einer Quecksilbersäule von 45 + 28 = 73 Zoll Höhe. Amontons hatte somit für die Skala seines Thermometers einen festen Punkt gewonnen, von welchem aus jede andere Temperatur sich unter steter Berücksichtigung des jeweiligen Luftdruckes in Zollen Quecksilberdruck angeben liess. Mit Hülfe seines Luftthermometers fand Amontons (Hist. etc. von 1702 p. 156) das wichtige, später nach Dalton-Gay-Lussac benannte Gesetz: Luftmassen, welche unter gleichem Drucke stehen, erfahren einen Zuwachs ihrer Elastictät, proportional der ihnen zugeführten Wärme.

Lambert's Verdienste um die Thermometrie.

Gestützt auf die Untersuchungen von Amontons war Lambert der Nächste, welcher an der Vervollkommnung des Luftthermometers arbeitete. In den Jahren 1751 bis 1776 hatte er sich drei solche Instrumente aus sorgfältig kalibrirten Röhren angefertigt, um ihren Gang mit dem Barometer und den damals bekannten Thermometern zu vergleichen. Die Zollskala von Amontons verwarf Lambert und wählte dafür eine Gradskala. Den Gefrierpunkt des Wassers bezeichnete er daran mit 1000. Durch Versuche über den Gefrier- und Siedepunkt des Wassers — für letzteren wählte er einen Luftdruck von 28 Pariser Zoll — ermittelte er, unter Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases, dass die Luft sich zwischen den beiden genannten Punkten von 1000 auf 1370 Grade seines Thermometers ausdehne. In seiner „Pyrometrie oder vom Maass des Feuers und der Wärme“ Berlin 1779 (posthum) § 81 ff. beschreibt Lambert die Einrichtung und Eintheilung des Instrumentes.

Eine eingehende Würdigung der Verdienste Lamberts um die Thermometrie gaben E. Gerland und A. Riggenbach in den im Literaturverzeichniss citirten Arbeiten, des letzteren Forschers Arbeit ist überhaupt ein interessanter Beitrag zur Geschichte der Wärmelehre.

J. H. Lambert 1728—1777.

Johann Heinrich Lambert wurde am 26. August 1728 in Mülhausen im Elsass als Sohn eines Schneiders geboren. Im 15. Lebensjahr wurde er Schreiber in einem Eisenwerke bei Mömpelgard, dann Sekretär bei Professor Iselin in Basel und darauf Hauslehrer bei dem Präsidenten von Salis in Chur. In dieser letzteren Stellung fand er Zeit und Gelegenheit sich wissenschaftlich auszubilden. Im Jahre 1764 berief ihn Friedrich der Grosse nach Berlin und ernannte ihn zum Oberbaurath und Mitglied der Akademie. Lambert starb am 25. September 1777 in Berlin. Seine Vaterstadt hat sein Andenken durch eine einfache, einen Globus tragende Säule geehrt. An dem sogenannten Lambertplatze steht ein altes Haus mit der Inschrift: Hier wurde Lambert geboren 1728. Eine gewissenhafte Darstellung von Lambert's Leben und Wirken mit besonderer Berücksichtigung seiner kosmologischen und philosophischen Leistungen und unter Benutzung älterer literarischer Quellen gab Johannes Lepsius in seiner, von der Münchener philos. Fakultät preisgekrönten Schrift: J. H. Lambert; München, Th. Ackermann 1881. In der „Collection Gerard“ der Stadtbibliothek von Mülhausen-Elsass befindet sich unter Nr. 2950 ein Auszug aus dem „Glaneur du Haut-Rhin“ betitelt: Notice sur Lambert de Mulhouse et Analyse de ses Lettres cosmologiques. Autor und Jahreszahl sind nicht genannt.

Anderweitige Luftthermometer.

Das von Gay-Lussac beschriebene, für Temperaturen unter Null bestimmte Luftthermometer enthielt wie die Instrumente von Penot, Eyk und Zabel einen verschiebbaren Quecksilberindex. Die Luftthermometer von E. Mitscherlich,

Rudberg und Magnus bestanden aus einem mit trockener Luft gefüllten, zu einer Kapillare ausgezogenen Gefäss, welches für den Gebrauch der zu messenden Temperatur ausgesetzt und dann an seinem kapillaren Ende zugeschmolzen wurde. Die Kapillare wurde darauf unter Quecksilber geöffnet, und die Menge des eindringenden Quecksilbers ergab die Ausdehnung der Luft, aus welcher die Temperatur berechnet wurde. Regnault berechnete die Temperatur aus der Druckzunahme der eingeschlossenen Luft bei unverändertem Volumen.

Flüssigkeitsthermometer. Jean Rey, geb. gegen Ende des 16. Jahrh. in Bugue, gest. um 1645 in Paris oder Bordeaux. Ferdinand II., Grossherzog von Toskana 1628–1670. Verbreitung der Weingeistthermometer. Ueber Antinori war an den gen. Orten Biogr. nicht zu finden.

Die erste Verwendung flüssiger Körper als thermometrische Substanz stammt wahrscheinlich von dem Arzte Jean Rey 1631 und zwar benutzte derselbe, wie aus einem Briefe von ihm an Mersenne vom 1. Januar 1632 hervorgeht, als Flüssigkeit Wasser. Ob der Grossherzog Ferdinand II. von Toscana, welcher gewöhnlich als Erfinder der Thermometer, die auf der Ausdehnung von Flüssigkeiten beruhen, genannt wird, von Rey's Instrument Kenntniss hatte, als er noch vor 1641 das erste Weingeistthermometer anfertigte, lässt sich mit Sicherheit nicht entscheiden. Im Auftrage des Grossherzogs verbreitete der Jesuit Luigi Antinori die neuen Weingeistthermometer zum Zwecke meteorologischer Beobachtungen in den Klöstern der Umgegend von Florenz, von wo aus sie eine schnelle Verbreitung bis nach Innsbruck, Osnabrück und Warschau fanden. Um die Vervollkommnung der ersten Weingeistthermometer war die Accademia del Cimento (zu vergl. Bd. I, p. 477) bemüht. Zur Anfertigung einer vergleichbaren Skala wurde als fester Punkt von den Akademikern die höchste Sommerwärme angenommen, während der Schmelzpunkt des Eises nicht direkt zur Bestimmung der Skala Verwendung fand, sondern mehr zufällig an eine bestimmte Stelle derselben fiel.

Verbesserung des Weingeistthermometers durch Boyle.

Wie aus den Experiments touching cold von 1665 hervorgeht, beschäftigte sich Rob. Boyle eingehend mit dem geschlossenen Weingeistthermometer, welches ihm wahrscheinlich von Monconys gezeigt wurde, der am 30. Mai 1663 in London bei dem Besuche einer Sitzung der Royal Society mit Boyle Bekanntschaft machte. Als festen Ausgangspunkt für die Anfertigung der Skala schlug Boyle den Erstarrungspunkt des Anisöls vor. Den Weingeist färbte er mit Cochenille. Die unter Boyle's Leitung von englischen Mechanikern angefertigten Thermometer übertrafen bald die der Florentiner an Güte.

Beobachtungen von de la Hire.

In Frankreich war es zuerst de la Hire, welcher mit einem Florentiner Thermometer Beobachtungen anstellte.

Die Strecke zwischen zwei festen Punkten, und zwar zwischen dem Schmelzpunkte des Eises und dem des Ortes des Flüssigkeitsstandes bei der grössten Sommerwärme, in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile zu theilen, scheint zuerst Hon. Fabri (Phys. Lugd. 1670 T. 3, Tract. 5 Prop. 251, p. 186) vorgeschlagen zu haben.

Graduirung durch Fabri und Dalencé.

Im Jahre 1688 gab Dalencé (Traité des baromètres, thermomètres et notiomètres, Amsterd. 1688) verschiedene Anweisungen zur Graduirung der Florentiner Thermometer, deren Kugel er eine abgeplattete Form verlieh und deren Weingeist er mit dem Farbstoff der Alkannawurzel färbte. Als unteren festen Punkt wählte er den Schmelzpunkt des Eises, als oberen den Schmelzpunkt der Butter bei Sommerwärme. Den Mittelpunkt der Entfernung zwischen beiden bezeichnete er als gemässigte Temperatur (ni chaud in froid). Jeden der beiden Abschnitte theilte er in 10 gleiche Grade und setzte die Theilung über den Kälte- und Wärmepunkt noch um vier solcher Grade weiter fort. Eine andere Eintheilung bewerkstelligte er auf folgende Weise: Er bereitete sich eine Kältemischung von Schnee und Salz, welche nach seiner Meinung die grösstmögliche künstlich

erzeugbare Kälte hervorbringen sollte, tauchte das Thermometer hinein und bezeichnete den Stand des Weingeistes als unteren festen Punkt. Da bereits Boyle (Experim. touch. cold. p 697 ff.) nachgewiesen hatte, dass die Temperatur in einem tiefen Keller konstant sei, brachte er das Thermometer alsdann in einen solchen und bezeichnete den hier eintretenden Stand des Weingeistes als oberen festen Punkt. Den Zwischenraum zwischen den beiden festen Punkten theilte er in 15 gleiche Grade mit einer Bezifferung von oben nach unten und setzte die Eintheilung um 15 solcher Grade noch über den oberen Punkt hinaus fort.

J. Dalencé gest. 1707.

Joachim Dalencé (d'Alancé) wurde in Paris geboren (das Datum ist nicht bekannt). Er war Sekretär Ludwig XVI. und starb am 17. Februar 1707 in Lille. (Briefl. Mittheilung der Bibl. nationale in Paris [Dir. Delisle].)

Beobachtungen von Borelli.

A. Borelli (de motu animalium Lugd. Batav. Ausg. von 1685 T. 2, p. 137) hatte mit Florentiner Thermometern gefunden, dass die Bluttemperatur des gesunden Menschen konstant sei; er schlug daher diese als festen Punkt für Thermometerskalen vor. — Nicht ohne Bedeutung für die Entwickelung der Flüssigkeitsthermometer waren die Untersuchungen, welche E. Halley (Philos. Trans. 1693 [1688] Nr. 197, p. 650) über das Ausdehnungsvermögen verschiedener Stoffe durch Wärme anstellte. Bei dieser Gelegenheit konstatirte er die Beständigkeit des Siedepunktes, allerdings ohne zu ahnen, dass dieselbe nur für einen bestimmten Luftdruck zutrifft. Für Thermometer mit Weingeist schlug er den Siedepunkt des letzteren als festen Punkt vor, auch empfahl er das Quecksilber, wenn auch wegen seiner geringeren Ausdehnung nur bedingt, als thermometrische Substanz.

Halley's Verdienste um die Thermometrie.

Huygens u. die Thermometrie.

Aus einer brieflichen Mittheilung von Huygens an Moray vom 2 Januar 1665, welche sich im fünften Bande (p. 188) der neuen Ausgabe von Huygen's Werken befindet, ist ersichtlich — worauf zuerst E. Gerland hingewiesen hat — dass Huygens bereits vor Halley die Konstanz des Siedepunktes gekannt und den letzteren als festen Punkt für Thermometerskalen empfohlen hat. Auch mit der Anwendung des Quecksilbers zur Füllung von Thermometern war Huygens bekannt. In Bezug hierauf verweist E. Gerland auf eine Stelle in Bd. 4 p. 327 von Huygens' Werken.

J. Bosscha (Christian Huygens; Rede am 200. Gedächtnisstage seines Lebensendes, aus dem Holländischen übersetzt von Th. W. Engelmann, Leipzig Engelmann 1895, p. 57 ff.) giebt eine von Huygens in seinem Tagebuche aufgeführte Liste verschiedener Themata zur Behandlung in der Pariser Akademie. Unten auf der ersten Seite des Tagebuches heisst es: „Mittels des Thermometers die verschiedenen Grade von Wärme und Kälte und ihre Wirkung beobachten und bestimmen. Hierzu Röhren mit Quecksilber zu fortdauernden Versuchen gebrauchen" etc. Es ist also ganz zweifellos, dass Quecksilberthermometer schon vor 1666 in Paris bekannt waren. Der Abbé Maze theilt mit, dass schon der französische Abt Ismaël Boulliau im Jahre 1659 Quecksilberthermometer mit willkürlicher Skala verwendete. Nach G. Hellmann ist es wahrscheinlich, dass Boulliau sein Quecksilberthermometer aus Florenz erhalten hat. Hierfür spricht der Umstand, dass Boulliau selbst in Florenz war und auch von Ferdinand II., dem Förderer der Thermometrie empfangen wurde. Es ist also wahrscheinlich nicht nur das Weingeistthermometer, sondern auch das Quecksilberthermometer von Florentiner Herkunft. — Im Jahre 1701 theilte Newton (Philos. Transact. Nr. 270, p. 824) der Royal Society Versuche über die Erwärmung von Körpern mit, wobei er sich eines Thermometers eigener Konstruktion mit Lein-

Ismaël Boulliau (Bullialdus), geb. 28. Sept. 1605 in Loudun (Laon, Picardie), Abt u. Astronom, gest. 25. Nov. 1694 in Paris.

Newton's Leinölthermometer.

ölfüllung bediente. Newton's Instrument hat jedoch wenig Anklang und Verbreitung gefunden.

Nachdem die Anfertigung vergleichbarer Flüssigkeitsthermometer hinlänglich vorbereitet worden war, trat die Entwickelung der Instrumente in ein neues Stadium, in welchem es sich hauptsächlich um die Herstellung endgültiger Skalen handelt.

Fahrenheit's Verdienste um die Thermometrie.

Die grössten Verdienste auf diesem Gebiete hat sich im Anfange des 18. Jahrhunderts Fahrenheit erworben. Um seine Thermometer empfindlicher zu machen, gab er dem Gefässe statt der kugeligen Form cylinderische Gestalt (Philos. Transact. 1724, Vol. 33, p. 78). Die ersten Thermometer Fahrenheit's waren mit Weingeist gefüllt, ihre Anfertigung fällt wahrscheinlich in das Jahr 1709. Später wählte er, vielleicht auf Veranlassung von Römer, Quecksilber zur Füllung. Fahrenheit hat drei verschiedene Skalen angefertigt. Die erste führte bei 0° die Bezeichnung „gemässigt", bei 90° unter Null stand: „sehr grosse Kälte", bei 90° über Null „sehr grosse Wärme". Diese Skala ersetzte er bald durch eine andere, auf welcher er die grösste Winterkälte mit 0°, die höchste Sommerwärme mit 24° bezeichnete. Die dritte definitive unter A. I. in diesem Kap. besprochene Skala beschrieb er in den Philos. Transact. von 1724, p. 78, ff. Dort theilte er auch mit, dass er Alkohol- und Quecksilberthermometer anfertige, und dass die Skala, je nach dem Zwecke, dem das Thermometer dienen solle, verschieden lang anzufertigen sei. Auch die Art der Evakuirung wird dort beschrieben. Bei seinen thermometrischen Untersuchungen hat Fahrenheit den Gefrierverzug des Wassers entdeckt und gefunden, dass unterkühltes Wasser durch Erschütterungen zum Gefrieren gebracht wird. Die Entdeckung fällt auf den 21. März 1721. Auch die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdruck entdeckte Fahrenheit und zeigte dann, dass man das Thermometer als Hypsothermometer zu Höhenbestimmungen verwenden könne. Das von ihm für solche Zwecke angefertigte Instrument nannte er Hypsobarometer (Philos. Transact. 1724, Vol. 33, p. 179).

Ole (Olof, Olaus) Römer, geb. 25. Sept. 1644 in Aarhuus, anfangs Erzieher des Dauphins in Paris, später Prof. der Math. u. hoher Staatsbeamter in Kopenhagen, gest. daselbst 19. Sept. 1710.

G. D. Fahrenheit 1686—1736.

Gabriel Daniel Fahrenheit wurde am 14. Mai 1686 als Sohn eines Kaufmanns in Danzig geboren. Er kam nach Amsterdam in die Kaufmannslehre, wurde später aber Mechaniker und Optiker. Wegen seiner Leistungen auf dem Gebiete der Thermometrie erwählte ihn die Royal Society zum Mitgliede. Er starb am 16. September 1736 in Amsterdam.

Die Thermometrie unter Réaumur.

In nicht geringe Verwirrung brachte Réaumur die Thermometrie. Er wollte als Fixpunkte seiner stets mit Weingeist gefüllten Instrumente den Gefrier- und Siedepunkt des Wassers einstellen, hat beide Punkte aber nie erhalten. Den Gefrierpunkt erreichte er nicht, weil er seine Thermometerkugeln, die sehr gross (4½ Zoll Durchmesser) und deswegen unempfindlich waren, dem gefrierenden Wasser nicht lange genug aussetzte, den Siedepunkt erhielt er nicht, weil er dessen Abhängigkeit vom Luftdrucke nicht kannte, und überdies den Punkt beobachtete, bei welchem ein Alkohol-Wassergemisch siedet. Die Theilung seiner Skala in 80 Grade wählte Réaumur, weil er fand, dass die von ihm verwendete Weingeistmischung sich von der tiefsten bis zu der höchsten Temperatur, welche er darauf einwirken liess, um 80 Tausendstel des bei ersterer eingenommenen Volumens ausdehnte. Réaumur veröffentlichte seine Untersuchungen über die Konstruktion von Thermometern in den Hist. et Mém. de l'Acad. de Paris vom Jahre 1730. Eine interessante Thatsache beobachtete Réaumur beim Experimentiren mit Alkohol-Wassergemischen, nämlich die der Volumkontraktion (zu vergl. Bd. I, p. 748), worüber er in den Mém. de l'Acad. de Paris vom Jahre 1733

berichtete. Ueber die zweifelhaften Verdienste Réaumur's um die Thermometrie haben schon seine Zeitgenossen, wie George Martine (Essays medical and philos. London 1740, Essais sur la construction et la compar. des Thermomètres Paris 1751) und später Lambert (Pyrometrie § 116 u. 117) ihre Ansichten nicht unausgesprochen gelassen. In Frankreich fand Réaumur's Methode zahlreiche Nachahmer, zu denen namentlich der Abbé Nollet gehörte. —

George Martine, geb. in Schottland 1702, Arzt in St. Andrews, gest. 1743 auf einer Reise nach Carthagena.

René Antoine Ferchault Seigneur de Réaumur des Angles et de la Bermondière wurde 1683 in La Rochelle geboren und studirte Jura und Naturwissenschaften. Er starb als Privatmann am 17. Oktober 1757 in seinem Schlosse Bermondière.

Réaumur 1683—1757.

Auf die Herstellung von Quecksilberthermometern aus sorgfältig kalibrirten Röhren und cylindrischen Gefässen, aber ohne Rücksicht auf die Wirkung des Luftdruckes, richtete im Jahre 1733 Delisle seine Aufmerksamkeit. Er veröffentlichte seine Untersuchungen in den Mém. pour servir à l'hist. et aux progrès de l'Astronom. etc. St. Pétersbourg 1733, 4 p. 267. Seine Instrumente waren in Russland eine Zeit lang gebräuchlich.

Herstellung von Thermometern durch Delisle, Boissier de Sauvages und Ducrest.

Joseph Nicolas Delisle wurde am 4. April 1688 in Paris geboren. Er war Astronom und Physiker anfangs in Paris als Mitglied der Akademie, später in Petersburg und zuletzt wieder in Paris, woselbst er am 11. September 1768 starb.

Delisle 1688—1768.

Thermometer mit Quecksilberfüllung verfertigte im Jahre 1743 François Boissier de Sauvages (aus dem Italien. deutsch im Hambg. Magaz. Bd. 1, p. 125). Er beschrieb genau die Füllung der Röhre mit Quecksilber und das Auskochen desselben. Die Skala zwischen dem Gefrier- und Siedepunkt des Wassers theilte er in 87 Grade.

François Boissier de Sauvages de la Croix wurde am 12. Mai 1706 in Alais geboren, war Professor der Medizin in Montpellier und starb am 19. Februar 1776 daselbst.

Boissier de Sauvages 1706—1776.

Im Jahre 1740 trat Ducrest mit verschiedenen Einwendungen gegen Réaumur's Thermometer auf und schlug bei der Herstellung seiner eigenen, genau kalibrirten Instrumente mit Füllung von reinem Alkohol ein anderes Verfahren ein. Als unteren Fixpunkt für die Skala wählte er nämlich die gemässigte Temperatur der Erde (Tempéré du globe), als oberen den Siedepunkt des Wassers unter genauer Berücksichtigung des Luftdruckes. Die Entfernung zwischen beiden Punkten theilte er in 100 Grade. Beim Gefrierpunkt des Wassers stand auf seiner Skala — $10\,{}^2/_5{}^0$. Ducrest veröffentlichte seine Studien anonym unter dem Titel: Description de la méthode d'un thermomètre universel. Als der Anonymus von Nollet angegriffen wurde, veröffentlichte er 1749 mit Nennung seines Namens von Bern aus eine Schrift: Mém. instructif sur les thermomètres etc., in welcher er alle Schäden der Réaumur'schen und Nollet'schen Instrumente aufdeckte.

Jacques Barthèlemi Micheli Ducrest (du Crest) wurde 1690 in Genf geboren. Er war französischer Offizier und Grossrathsmitglied von Genf und wurde nach seiner Verstossung wegen Verdachtes der Theilnahme an der sogenannten Henziverschwörung zu lebenslänglichem Kerker verurtheilt. Kurz nach seiner Entlassung starb er am 29. März 1766 in Zofingen. (J. H. Graf, Gesch. der Math. und Naturw. in bernischen Landen. Bern: Wyss 1890, Heft 3, Abth. 2, p. 68 ff.)

Ducrest 1690—1766.

Das neben dem Fahrenheit'schen Instrumente in jeder Hinsicht am vollkommendsten und genauesten hergestellte Thermometer des 18. Jahrhunderts

Das Celsius-Thermometer.

ist dasjenige des Schweden Celsius (Vetenskab. Akad. Handl. 1742 T. 4, p. 197). Celsius fand die um 1740 in seinem Vaterlande gebräuchichen Thermometer wenig übereinstimmend und beschloss daher diesem, namentlich in der Wissenschaft fühlbaren Mangel abzuhelfen.

Nachdem er erkannt hatte, dass Gefrieren von Wasser und Schmelzen von Eis in Bezug auf die Temperatur dasselbe sei, und dass darauf der Barometerstand keinen Einfluss ausübe, bestimmte er den unteren Fixpunkt für ein Quecksilberthermometer in schmelzendem Eis, da bei der Bildung des letzteren das Wasser unterkühlt hätte sein können. Den Siedepunkt notirte er erst, nachdem er das Thermometer etwa acht Minuten dem kochenden Wasser ausgesetzt hatte. Er beobachtete, dass sich das Quecksilber beim Herausheben aus dem Wasserbade etwas über den bis dahin inne gehabten Stand erhob und erklärte diese Erscheinung aus dem Umstande, dass sich das Glas im ersten Augenblicke stärker als das Metall beim Abkühlen zusammenziehe. Nachdem Celsius von der Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdrucke gehört und sich durch eigene Versuche davon überzeugt hatte, nahm er bei der Herstellung seiner Thermometer hierauf Rücksicht, indem er zur Festlegung des Siedepunktes 25 Zoll 3 Linien Quecksilberhöhe wählte, die er als mittleren Barometerstand für Schweden festgestellt hatte. Den Abstand zwischen den beiden festgelegten Punkten theilte er in 100 gleiche Theile und bezeichnete den Siedepunkt mit 0°, den Schmelzpunkt mit 100°. Die umgekehrte, später allgemein angenommene Bezeichnung stammt von Celsius' Landsmann Strömer aus dem Jahre 1750 (zu vergl. die im Literaturverz. cit. Notiz von Poggendorff). Es würde also richtiger sein die heute gebräuchliche hunderttheilige Skala nicht nach Celsius, sondern nach Strömer zu benennen.

Märten Strömer, geb. 7. Juni 1707 in Orebro, Prof. der Astronomie in Upsala, zuletzt der Math. an der Kadettenschule in Carlscrona, gest. 2. Jan. 1770 in Upsala.

A. Celsius 1701—1744.

Anders Celsius wurde am 27. November 1701 in Upsala geboren. Er war Professor der Astronomie daselbst. Als Astronom betheiligte er sich an der lappländischen Gradmessung von 1736. Bekannt ist er ferner durch seine Beobachtungen des Nordlichtes. Er starb in Upsala am 25. April 1744.

Christin's Thermometer.

Ueber Christin ist Biographisches nicht zu ermitteln, er ist wahrscheinlich der Vater des bekannten frz. Advokaten Christin, der von 1744—1799 lebte.

In Frankreich trat Christin mit einem hundertgradigen Quecksilberthermometer hervor. Schon am 13. Juli 1740 hatte er der Lyoner Akademie die Mittheilung gemacht, dass Quecksilber für die Füllung von Thermometern dem Weingeiste entschieden vorzuziehen sei. Eine genaue Beschreibung seines Instrumentes gab Christin in verschiedenen französischen und ausländischen Blättern unter dem Titel: Thermomètre de Lyon, divisé selon la mesure de la dilatation du mercure trouvée en 1743. Dieses Thermometer steht an Genauigkeit deswegen hinter dem von Celsius zurück, weil Christin bei der Bestimmung des Siedepunktes den Barometerstand nicht berücksichtigte.

Nach Arago soll die erste hunderttheilige Skala von Linné vorgeschlagen worden sein.

Arago 1786—1853.

Dominique François Jean Arago wurde am 26. Februar 1786 in Estagel bei Perpignan geboren, war Professor der Mathematik an der École polytechnique und Leiter der Sternwarte in Paris und starb daselbst am 2. Oktober 1853.

Die Thermometrie bei Deluc.

Eine wissenschaftliche Zusammenfassung der Thermometrie und genaue Angaben über die Herstellung vergleichbarer Quecksilberthermometer unter Berücksichtigung aller dabei in Betracht zu ziehenden Vorsichtsmaassregeln nebst Korrektionen für den Luftdruck veröffentlichte im Jahre 1772 Deluc im 2. Kap. des 2. Theil. p. 219 ff seiner Recherches sur les modifications de l'atmosphère (Genève 1772). Deluc's Vorschriften über Reinigung des Quecksilbers und

Füllung der Instrumente weichen im grossen Ganzen nur unerheblich von den heutigen Vorschriften ab. Hinsichtlich der Eintheilung der Skala gab Deluc an, man solle in den Ländern, wo das Thermometer von Réaumur am bekanntesten sei, die achtziggradige, im übrigen Fahrenheit's Skala beibehalten.

Aeltere Werke über Thermometrie

Von älteren Werken über Thermometrie giebt es ausser demjenigen von Deluc und Lambert zwar noch zahlreiche andere, doch sind dieselben weniger wichtig und werden deswegen hier übergangen. Es mag nur noch erwähnt werden, dass sehr vollständige Vergleichstafeln von Skalen sich namentlich bei J. H. van Swinden (Dissertation sur la comparaison des thermomètres, Amst. 1778) finden, der nicht weniger als 72 Skalen beschreibt. In Bezug auf die Anfertigung des Thermometers sind noch zu nennen: Körner: Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermo- und Barometer, Jena 1824 und Luz: Vollständige und auf Erfahrung gegründete Anweisung Thermometer zu verfertigen. Nürnberg 1781, 2. Aufl. 1823, 3. Aufl. 1834.

F. Körner 1778–1847.

Friedrich Körner wurde 1778 in Weimar geboren, war Hofmechaniker und Docent in Jena und starb am 2. Februar 1847 daselbst.

J. F. S. Luz 1744—1827.

Johann Friedrich Salomon Luz, geboren 2. August 1744 zu Obernbreit in Franken, bayer. Kirchenrath und Pastor in Unterschwaningen (R.B. Mittelfranken), gestorben 20. Juli 1827 daselbst. (Briefl. Mitthlg. d. Herrn Pfarrer Förtsch daselbst).

Genaue Siedepunktsbestimmungen.

Ueber die Art der Bestimmung des Siedepunktes haben, nachdem Cavendish (Philos. Transact. 1757 T. 66, p. 380) vorgeschlagen hatte nur die Dämpfe des siedenden Wassers zu benutzen, namentlich Egen (Ann. der Physik und Chemie Bd. 11, p. 234 u. 517) und Rudberg (Ann. der Phys. u. Chem. Bd. 40, p. 55) umfassende Untersuchungen angestellt. Auf die Verschiebung der Fundamentalpunkte wurde zuerst durch J. L. Gourdon (Bibl. univ., 1822, T. 19, p. 154) aufmerksam gemacht. Dass auf die Verschiebung die Beschaffenheit des Glases von Einfluss sei, erkannte zuerst J. N. Legrand und berichtete darüber in seiner Arbeit: Recherches sur le déplacement qu'éprouve l'échelle des thermomètres à mercure. (Ann. de chim. et de phys. 1837 T. 63, p. 368).

Entdeckung der Verschiebung der Fundamentalpunkte.

Entdeckung der Beziehung zwischen Beschaffenheit des Glases und Verschiebung der Fundamentalpunkte.

Ch Cavendish 1703–1783.

Lord Charles Cavendish wurde 1703 geboren, der Geburtsort ist unbekannt. Er war Mitglied der Royal Soc. seit 1727, jedoch nie Präsident derselben, wie öfters angegeben wird, und starb am 28. April 1783 in London.

P. N. C. Egen 1793 - 1849.

P. N. C. Egen wurde am 26. April 1793 in Brekersfeld bei Elberfeld geboren. Zuletzt bekleidete er die Stelle eines Ministerialrathes und Direktors des Gewerbe-Instituts in Berlin und starb am 23. August 1849 daselbst.

J. N Legrand 1796—1871.

Ueber Jean Nicolas Legrand (zu vergl. Bd. I, p. 845) hat sich durch gütige Vermittelung der Bibl. nationale (Direction: Delisle) noch Folgendes ermitteln lassen: Er wurde geboren in Bouvellemont (Ardennes) am 9. Januar 1796, war Professor an der Faculté des sciences in Montpellier und starb daselbst am 1. Mai 1871.

J. L. Gourdon 1764—1850.

Jaques Louis Gourdon, geboren am 9. April 1764 in Genf, anfangs Uhrmacher, beschäftigte er sich später als Mechaniker hauptsächlich mit der Herstellung von Thermometern; er starb am 1. September 1850 in Genf. Näheres bei Alph. de Candolle in den Procès verbaux des séances de la soc. des arts. Genève 1850—1854 T. VI, p. 176.

Kalibrirmethode.

Genaue Methoden zur Kalibrirung von Thermometerröhren haben Hennert (Traité des thermomètres, La Haye 1758 p. 44), Hällström 1825, Bessel 1826, Egen 1827, Gay-Lussac (Ann. der Phys. und Chem. Bd. 6, p. 287) und Rudberg (Ann. d. Physik und Chemie Bd. 40 p. 572) ausgearbeitet. Das älteste

Herstellung selbstregistrirender Thermometer.
Ueber Blackadder konnte Biographisches bisher nicht ermittelt werden.
J. F. Hennert 1733–1813.

selbstregistrirende Thermometer stammt von Cavendish (Philos. Transact. 1757 p. 300). Darauf folgten die noch heute verwendeten Thermometrographen von Six (1782) und Rutherford (1794). Ein derartiges Instrument von Blackadder (Ann. der Physik und Chemie 1826, Bd. 6, pag. 502 und Bd. 7 pag. 244 mit Taf. 4 Fig. 1) hat sich nicht bewährt.

Johann Friedrich Hennert wurde am 19. Oktober 1733 in Berlin geboren. Er war Professor der Mathematik und Astronomie in Utrecht und starb daselbst am 27. März 1813.

G. G. Hällström 1775–1844.

Gustav Gabriel Hällström wurde am 25. November 1775 in Ilmola-Soken (Wasa-Län) geboren Er war Professor der Physik in Åbo und Helsingfors und starb am 2. Juni 1844 in Helsingfors.

Quecksilberthermometer für hohe Temperaturen.
Metalllegirungen als thermometrische Substanz.

Den Gedanken, das Quecksilberthermometer für Temperaturen über den Siedepunkt des Quecksilbers hinaus brauchbar zu machen, fasste schon Person (Compt. rend. 1844 T. 19, p. 758, Zeile 24 ff.). Er schlug vor, über dem Quecksilber Luft von 4 At. Druck einzuschliessen. Auch der Gedanke als thermometrische Substanz Metalllegirungen zu verwenden, ist nicht neu. Wir finden ihn bereits im Jahre 1780 bei Achard (zu vergl. Pelouze: Traité de pyrom. u. Becquerel: Ann. de chim. et de Phys. 1863, 3. Sér. T. 68 p. 52). —

Ch. Cl. Person 1801–1884.

Charles Cléophas Person wurde am 1. Mai 1801 in Mussy-sur-Seine geboren. Er war Professor der Physik in Nancy und Rouen und zuletzt an der Fac. des Sc. in Besançon. Im Jahre 1856 trat er in den Ruhestand und starb am 22. Februar 1884 in Nizza. (Briefliche Mittheilung der Universitäts-Bibliothek von Besançon).

Geschichte der Metallthermometer.
Musschenbroek's Pyrometer.

Das erste und einfachste Metallthermometer konstruirte um 1731 P. van Musschenbroek. Er führte dafür den Namen Pyrometer ein, und beschrieb es in seiner Introductio ad philosophiam naturalem Bd. 2, p. 610. Das Instrument bestand aus einer Metallstange, deren eines Ende befestigt war und deren Ausdehnung beim Erwärmen durch einen am anderen Ende angebrachten Zeiger angegeben wurde.

Pyrometer von Mortimer.
Cromwell Mortimer, geb. wann? in Essex, Arzt in London, Schüler Boerhave's, gest. 7. Jan. 1752 auf seinem Familiensitze Topping Hall, Hatfield Peverel Essex. (Näheres im Dictionary of National Biography London, Smith, Elder and Co. 1894, V. 34, p. 118.)

Im Jahre 1746 stellte Mortimer (Philos. Transact. 1747, Vol. 44 p. 672) ein Metallpyrometer her. Er befestigte eine cylindrische Eisenstange von etwa 1 m Länge in senkrechter Lage unbeweglich an einem Gestell. Das freie Ende der Stange berührte einen, um eine horizontale Axe beweglichen Hebel, dessen längerer Arm an seinem Ende mit einer Schnur verbunden war, die über eine Rolle lief und durch ein Gewicht gespannt wurde. Ein anderes Gewicht am Ende des kürzeren Hebelarmes bewirkte die Berührung zwischen Hebel und Metallstange. Wenn letztere sich beim Erwärmen ausdehnte, veränderte sich die Lage des Hebels, die Rolle drehte sich und ebenso ein mit ihr fest verbundener Zeiger, welcher auf einer vertikalen, feststehenden Kreisscheibe, auf welche Fahrenheitgrade aufgetragen waren, die der Ausdehnung der Metallstange entsprechende Temperatur angab.

Verbesserung der Metallpyrometer durch Löser u. Felter.

Die erste Räderübersetzung bei Metallthermometern bewerkstelligte H. von Löser (J. D. Titius: Thermometri metallici Viteb. 1765). Felter (Magazin für das Neueste aus der Physik und Naturgeschichte, Gotha 1787, Bd. 4 Stück III. p. 89, VI. und Hamburger Correspondent 1779 Nr. 203) hat wohl zuerst den Unterschied in der Ausdehnung zweier verschiedener Metalle zur Anfertigung von Metallpyrometern benutzt. Er verband eine Stange aus Messing und Eisen an einem

Ende durch Niete. Am andern Ende trug die Messingstange einen langen Zeiger, der durch den Eisenstab hindurchging.

Geburtsort und -Datum von Hans von Löser war mit Sicherheit nicht zu ermitteln. Er war kurfürstlich sächsischer Minister und Erbmarschall und starb 1763 auf seinem Gute Reinhardz bei Wittenberg.

H. von Löser gest. 1763.

Johann Daniel Titius (Tietz) wurde am 2. Januar 1729 in Konitz geboren und war Professor der Mathematik und Physik in Wittenberg, woselbst er am 16. Dezember 1796 starb.

J. D. Titius 1729—1796.

Ueber Johann Heinrich Wilhelm Felter konnte nur ermittelt werden, dass er 1765 in Leinde bei Immendorf (Kreis Wolfenbüttel) als Windmüller und Orgelmacher ansässig war. Später, nach 1772 war er Mechaniker in Braunschweig. [Briefl. Mitthlg. des Stadtarchivars: Prof. Hänselmann in Braunschweig und des Pastors Lindemann in Leinde.]

Nach Scholz (Jahrb. des polytechn. Institutes in Wien Thl. 1. p. 203) hat ein Wiener Uhrmacher, Namens Holzmann, im Anfage des neunzehnten Jahrhunderts Metallthermometer verfertigt.

Näheres über Holzmann ist nicht zu finden.

Benjamin Scholz wurde am 9. Februar 1786 in Wien geboren. Er war Dr. med. und Professor der technischen Chemie am polytechnischen Institut in Wien, später Direktor der Porzellanfabrik daselbst und der Spiegel- und Smaltefabrik in Schlögelmühl und starb am 2. Juli 1833 in Wien.

B. Scholz 1786—1833.

Wesentliche Verbesserungen erfuhren die Metallpyrometer durch Borda (Biot: Traité de Phys. 1816 I. p. 159 und Dingler's polytechn. Journal 1824, Bd. 13, p. 252 in der Abhdlg. von de Prony), welcher eine noniusartige Ablesungsvorrichtung für die Ausdehnung zweier verschiedener Metalle anwandte, und durch Guyton de Morveau (Essai de Pyromètre, Mémoires de la classe des sciences math. etc. de l'inst. de France Année 1808, Paris 1809 p. 365 und Année 1811 (Paris 1817) sec. Part. p. 89), welcher einen Platinstreifen in den Ausschnitt einer Porzellanplatte anbrachte und den Unterschied in der Ausdehnung beider durch einen drehbaren Hebel auf einen Zeiger übertrug.

Pyrometer von Borda u. Guyton de Morveau.

Louis Bernard Guyton de Morveau wurde am 4. Januar 1737 in Dijon geboren, war Professor der Chemie und Direktor der Münze in Paris und starb daselbst am 2. Januar 1816.

Guyton de Morveau 1747—1816.

Andere Metallthermometer, die allenfalls Interesse haben, sind von J. Frederic Daniell (Brande's quarterly Journal Vol. 11 p. 309 und Dingler's polytechn. Journal 1828 Bd. 29 p. 416 mit Fig. 20 auf Taf. 9; 1832 Bd. 43 p. 189 mit Fig. 21 und 22 auf Taf. 4), William Gibbon (Dingler's polytechn. Journ. 1838, Bd. 68 p. 436 mit Fig. 24 auf Taf. 7), Chr. Oechsle (Dingler's polytechn. Journ. 1836, Bd. 60, p. 191; 1870 Bd. 195 p. 313; 1871 Bd. 200, p. 21 mit Fig. 25 und 26 auf Taf 1) und von dem Londoner Ingenieur Jean Leandre Clement aus Rochefort (Dingler's polytechn. Journ. 1843, Bd. 88 p. 241 mit Fig. 55—62 auf Taf. 4) verfertigt worden.

Biographisches über Gibbon ist nicht zu finden.

Angaben über Clement seitens des Police office von London sind unsicher.

Christian Ludwig Oechsle wurde am 15. Oktober 1814 in Pforzheim geboren, war Goldkontrolleur in seiner Vaterstadt und starb daselbst am 13. Oktober 1897. (Mittheilung des Bürgermeisteramtes Pforzheim).

Ch L. Oechsle 1814—1897.

Die Aenderung des Aggregatzustandes einer Metalllegirung (alliage pyromètrique) zu Temperaturmessungen wurde zuerst von J. Prinsep (Annales de chim. et de physique 1829 T. 41 p. 247—260) angewandt. Die Benutzung in der Hitze „schwindender" Thonpyrometer stammt aus dem Jahre 1782 von dem Töpfer und Erfinder des Steinguts: Josiah Wedgwood (Philos. Transact. Vol. 72 p. 305; Vol. 74 p. 385; Vol. 76 p. 390). —

Historisches über Temperaturmessung durch Aggregatzustandsänderung.

J. Prinsep 1800—1840.

James Prinsep wurde im Jahre 1800 geboren, Tag und Ort der Geburt sind unbekannt. Er war Münzmeister zuerst in Benares und dann in Calcutta und starb am 22. April 1840 in London. (Biogr. Notiz: Proc. Roy. Soc. London 1840, Nr. 45, p. 229.)

J. Wedgwood 1730—1795.

Josiah Wedgwood wurde am 12. Juli 1730 in Burslem am Trent (Staffordshire) geboren und starb am 3. Januar 1795 in Etruria bei Newcastle-under-Lyme.

Von grossem Einflusse auf die Thermometrie wurde die Erfindung des Thermoelementes und der astatischen Doppelnadel, sowie die Vervollkommnung des Galvanometers. In Verbindung mit einem für Thermoströme geeigneten Multiplikator (zu vergl. Bd. I, p. 936) ist das Thermoelement das feinste Thermometer, mit welchem sich nach Melloni Temperaturunterschiede bis zu $\frac{1}{5000}{}^{0}$ nachweisen lassen. Der Erste, welcher diese Apparate zu Temperaturbestimmungen verwandte war Becquerel (Ann. de Chim. et de Phys. 1826 T. 31 p. 371). Als Thermoelement benutzte er zunächst zwei aus verschiedenem Platina angefertigte, an ihrem einen Ende vereinigte Drähte, dann brachte er Drähte aus Platina und Palladium zur Anwendung. Becquerel unterschied thermoelektrische Pyrometer für höhere und mittlere Temperaturen. Mit dem Pyrometer aus Platina maass er die Temperatur eines Porzellanofens zu Sèvres und fand bei einer Nadelabweichung von 27,5° eine Temperatur von 2542,8° C. Zur Messung mittlerer Temperaturen schlug Becquerel ein Thermoelement von Kupfer und Eisen vor und maass damit die Temperatur in verschiedenen Tiefen des Genfer Sees. Auch zur Erforschung der Temperatur in den Organen lebender Thiere und Pflanzen hat Becquerel seine Thermoelemente empfohlen (zu vergl. Annales des sciences natur. etc. 1835; Sér. 2, T. 3. Zool. p. 257). Bei einem Wärmeunterschied von 1° C. wurde eine Ablenkung der Galvanometernadel um 10° bewirkt, so dass sich Temperaturunterschiede von 0,1° C. noch deutlich erkennen liessen. Eine andere thermoelectrische Temperaturmessung am lebenden Organismus haben unter Benutzung der Becquerel'schen Nadeln Meissner und Meyerstein angewandt.

Einführung der thermoelektrischen Temperaturmessung durch Becquerel.

Antoine César Becquerel, geb. 8. März 1788 in Châtillon-sur-Loing, Prof. der Phys. am Musée d'Hist. natur. in Paris, gest. daselbst (18.) 19. Jan. 1878.

Messungen von Pouillet.

Pouillet (Compt. rend. 1836 T. 3 p. 782 und Ann. der Physik und Chemie 1836 Bd. 39 p. 574) hat ein Thermoelement aus Eisen und Platina zur Messung hoher und tiefer Temperaturen benutzt, für letztere gebrauchte er (Compt. rend. 1837 p. 513 und Ann. der Phys. u. Chem. Bd. 41 p. 147) überdies ein Element aus Kupfer und Wismuth.

Temperaturmessung durch Vertheilung von Wärme.

Auch die Temperaturmessung durch Vertheilung der von einem festen Körper aufgenommenen Wärme auf eine Flüssigkeit hat ihre Geschichte.

Coulomb (Ann. der Phys. und Chemie Bd. 14, p. 530) suchte auf solche Weise die zum Härten von Stahl erforderliche Hitze zu bestimmen.

Clément-Desormes (Vorlesungen über technische Chemie, deutsch aus d. Recueil industr. von 1829 in Dingler's polytechn. Journal 1829, Bd. 33, p. 145) maass die Temperatur von Schornsteingasen dadurch, dass er die Hitze derselben auf eine Eisenplatte wirken liess, diese dann, nachdem sie die Temperatur der Gase angenommen hatte, in Wasser tauchte und aus der Temperaturzunahme des letzteren die Temperatur der Gase berechnete. — Gay-Lussac (Dingler's polyt. Journ. 1837 Bd. 63 p. 285) empfahl für ähnliche Zwecke Metallringe; Pouillet (Dingler's polyt. Journ. 1837, Bd. 63 p. 219) bediente sich einer 178 g schweren Platinkugel und Arago (Ann. de chim. et de phys. T. 64 p. 334), sowie Lamé (Traité de phys. p. 417) benutzten ähnliche Kugeln.

N. Clément 1779—1841.

Nicolas Clément wurde im Jahre 1779 in Dijon geboren. Er führte auch den Namen Clément-Desormes, weil er der Schwiegersohn war von

Charles Bernard Desormes, welcher am 3. Juni 1777 in Dijon geboren wurde, Fabrikant chemischer Produkte und Repetent der Chemie an der polytechnischen Schule in Paris war und am 30. August 1862 in Verberie (Oise) starb. Clément selbst war Professor am Conservatoire des arts et métiers in Paris und starb 1841 daselbst.

Ch. B Desormes 1777—1862.

Gabriel Lamé wurde am 22. Juli 1795 in Tours geboren. Er war Mineningenieur und russischer Oberst und zuletzt Professor der Physik an der École polytechnique in Paris und starb am 1. Mai 1870 daselbst.

G. Lamé 1795—1870.

Leonhard Schwartz (Bullet. de la soc. ind. de Mülhausen 1827 p. 22) hatte schon 1826 als Flüssigkeit zur Aufnahme der Wärme statt des Wassers Quecksilber angewandt, Alex Miller aus Liverpool (Dingler's polyt. Journ. 1848 Bd. 108, p. 115 aus Edinburgh new philosoph. Journ. Vol. 44, p. 126) verfuhr ebenso; E. L. Schubarth (Dingler's polyt. Journ. 1848 Bd. 110 p. 32) dagegen zeigte, dass dieses Verfahren ungenau sei. Spätere Untersuchungen nach dieser Richtung hin unternahmen, unter Benutzung von Wasser als Aufnahmeflüssigkeit, John Wilson in Bridgewater (Dingler's polytechn. Journ. 1852, Bd. 125, p. 432), C. Schinz (Wärmemesskunst Stuttgart: Mäcken 1858 Art. 74 p. 53) und andere.

Ueber Miller war Biogr. nicht zu finden.

Wilson in d. Police office von Bridgewater nicht bekannt.

Leonhard Schwartz wurde am 28. März 1802 in Mülhausen-Els. geboren. Er war Chemiker und Fabrikant in Mülhausen und starb daselbst am 2. November 1885. (Nekrolog von Ed. Mieg in Bull. de la Soc. ind. von Mülhausen T. 55, p. 277).

Schwartz 1802—1885.

Ernst Ludwig Schubarth wurde am 8. April 1797 in Merseburg geboren, war Professor und Geheimer Regierungsrath in seiner Vaterstadt und starb daselbst am 8. Februar 1868.

Schubarth 1797—1868.

Karl Heinrich Schinz gehörte einer seit 1376 in Zürich eingebürgerten Familie an und wurde daselbst am 25. März 1809 geboren. Er war von Beruf Ingenieur und als solcher in den 50er Jahren in Odenwald bei Freudenstadt (Würtemberg) thätig; gestorben ist er am 8. Februar 1874 in Schaffhausen. (Briefliche Mittheilung der Züricher Stadtbibliothek).

Schinz 1809—1874.

Den Anstoss zu akustischen Temperaturmessungen gaben Cagniard-Latour und Demonferrand (Compt. rend. T. 4 p. 28); Optische Methoden sind neueren Datums.

Charles Cagniard-Latour wurde am 31. März 1777 in Paris geboren, war Ingenieur und starb am 5. Juli 1859 in Paris.

Ch. Cagniard-Latour 1777—1859.

Jean Baptiste Firmin Demonferrand wurde im Jahre 1795 geboren, Tag und Ort sind nicht bekannt. Er war Generalinspektor des öffentlichen Unterrichts in Frankreich und starb am 22. Januar 1844 in Paris.

Demonferrand 1795 - 1844.

Literatur zur Geschichte des Thermometers.

Arago: Mittheilung die hundertgradige Thermometerskala betreffend. Compt. rend. 1844, T. 18, p. 1063 u. Annal. der Phys. u. Chem. 1844 3. Reihe Bd. 63 p. 122.

Edmond Becquerel: Recherches sur la détermination des hautes températures etc. Ann. de chim. et de phys. 1863, 3 Sér. T. 68 p. 49.

Fr. Burckhardt: Die Erfindung des Thermometers und seine Geschichte im 17. Jahrhundert. (Mit einer lithogr. Tafel) Basel, C. Schultze [H. Georg] 1867. (Grundlegende Arbeit für historische Forschungen über Thermometer).

Derselbe: Die wichtigsten Thermometer des achtzehnten Jahrhunderts. Wissenschaftl. Beilage zum Bericht der Gewerbeschule zu Basel von 1870—71 Basel, Schultze 1871.

Fr. Burckhardt: Zur Geschichte des Thermometers. Allgem. Schweiz. Zeitung vom 3. Dez. 1895.

A. Fischer: Ueber Metallthermometer. Vortrag geh. in dem Berliner Zweigver. der deutsch. meteorol. Gesellsch. Zeitschrift für Instrumentenk. 1885, 5. Jahrg. p. 175.

E. Gerland: Ueber Amonton's Leistungen in der Thermometrie und seine Entdeckung des absoluten Nullpunktes. Festschrift des Vereins für Naturkunde zu Cassel zur Feier seines fünfzigjähren Bestehens. Cassel: L. Döll 1886 p. 62.

Derselbe: Ueber Amonton's und Lambert's Verdienste um die Thermometrie Zeitschrift für Instrumentenkunde 1888, Jahrg. 8, p. 319.

Derselbe: Zur Geschichte des Thermometers. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1893, Jahrg. 13 p. 340.

G. Hellmann: Die ältesten Quecksilberthermometer. Meteorol. Zeitschrft. 1897 Bd. 14 p. 31 (Ref. Zeitschrft. für Instrumentenkunde 1897; Jahrg. 17, p. 122.

Ch. Henry: Les thermomètres de Salon 1628. Revue scientifique 1884. (3) T. 33 p. 595.

G. Libri: Ueber die Bestimmung der Skala des Thermometers der Accademia del Cimento. Annalen der Physik und Chem. 1831, Bd. 31 p. 325.

Maze: Sur le premier thermomètre à mercure. Compt. rend. 1895, T. 120, p. 732.

A Momber: Daniel Gabriel Fahrenheit. Sein Leben und Wirken. Schriften der naturf. Gesellschaft zu Danzig 1890.

A. J. von Oettingen: Abhandlungen über Thermometrie von Fahrenheit, Réaumur, Celsius. (Mit histor. Anmerkungen). Ostwald's Klassiker der exakt. Wissenschaften. Nr. 57 Leipzig, Engelmann 1894.

Pelouze: Traité complet des Pyromètres Paris 1829. (Traduction d'un ouvrage anglais publié à Londres en 1828 par une société d'ingénieurs).

J. C. Poggendorff: Ueber die Celsius'sche Thermometerskale. Annalen der Phys. und Chem. 1876, 6. Reihe Bd. 7, p. 352.

E. J. Rensu: Histoire des Thermomètres. Annuaire de la Soc. franç. de metéorologie 1877, 24. (Diese Arbeit konnte im Original nicht eingesehen werden).

A. Riggenbach: Historische Studie über die Entwickelung der Grundbegriffe der Wärmefortpflanzung. Wissenschftl. Beilage zum Bericht über das Gymnasium in Basel. Schuljahr 1883—1884. Basel, Schultze 1884.

H. Schiff, Alte Thermometerformen. Zeitschrft. f. Glasinstr.-Industr. 1896, Bd. 5, p. 48.

Wilh. Schmidt: Zur Geschichte des Thermoskopes. Abhdlg. zur Geschichte der Mathematik 1898 Heft 8, p. 163 ff. (Schon Heron von Alexandrien soll ein Luftthermoskop gekannt haben).

A Scott: L'invention du thermomètre. Revue scientifique 1884 (3) T. 33 p. 542.

E. Wohlwill: Zur Geschichte der Erfindung und Verbreitung des Thermometers. Annalen der Physik und Chemie 1865. 5. Reihe Bd. 4. p. 163.

Historische, Bemerkungen zur Thermometrie, sowie mancherlei Hinweise auf die Konstruktion von Thermometern aller Art findet man in dem Artikel „Thermometer" der Encyclopaedia britannica Bd. 23, 1888 p. 288 ff. und in dem Artikel: „Heat" Abschnitt „Thermometery und Thermoscopes" Bd. 11. 1880 p. 558 ff.

B. Beobachtung und Messung der Temperatur am Krankenbette.

Das Thermometer ist heutzutage ein steter Begleiter des Arztes, ja es ist ein unentbehrliches Werkzeug der häuslichen Medizin geworden, dessen sich die besorgte Mutter bedient, um festzustellen ob ihr Liebling fiebert, und welches der Kranke selbst befragt, bevor er den Arzt rufen lässt.

Zur richtigen Beurtheilung von Temperaturbeobachtungen und Temperaturmessungen am Krankenbette ist eine genaue Kenntniss der Eigenwärme des Gesunden erforderlich. Es ist zu berücksichtigen, dass bei Personen verschiedenen Alters Unterschiede in der normalen Eigenwärme bestehen, welche auf die Temperaturverhältnisse im Verlaufe einer Erkrankung von Einfluss sind. —

Vor der Geburt ist das Kind um ein Geringes wärmer als der Uterus der Mutter, ein Zeichen, dass die Frucht ihre eigenen Wärmequellen besitzt. Bei der Geburt hat das Rectum des Kindes eine mittlere Temperatur von 37,7° C. Gleich nach der Geburt und besonders nach dem ersten Bade sinkt die Eigenwärme des Kindes durchschnittlich um 0,7 bis 0,8° C. und beträgt im Mittel 37° C. In den folgenden Tagen steigt die Temperatur wieder, im Mittel auf 37,6° C., und dieser Werth bleibt durch das ganze Kindesalter bestehen, sodass während desselben auch die physiologischen Tagesschwankungen nach oben und unten höher gelegene Grenzwerthe aufweisen. In der Abkühlung des kindlichen Organismus gleich nach der Geburt, wobei derselbe zum ersten Male genöthigt wird, von seinen Einrichtungen zur Erhaltung des Lebens Gebrauch zu machen, hat man den Impuls zur ersten Athembewegung gesehen. Man kann der Abkühlung auch die erste Anregung zur selbständigen Wärmeproduktion zuschreiben. In der Pubertätsperiode sinkt die Eigenwärme bis 0,3° C. unter die im Kindesalter und erhält sich in diesem Zustande bis zu den späteren Lebensjahren, in denen wiederum eine geringe Erhöhung der mittleren Temperatur hervortritt.

M. Mühlmann (Archiv für Kinderheilkunde 1897, Bd. 23, p. 291) hat Temperaturmessungen an Neugeborenen angestellt und will gefunden haben, dass sich die durchschnittliche Höhe ihrer Körpertemperatur durch nichts von der der Erwachsenen unterscheidet. Die Durchschnittstemperatur von 21 Neugeborenen betrug 36,6° C. Ein merklicher Unterschied in den Temperaturverhältnissen zwischen Knaben und Mädchen kommt nicht vor. Im Temperaturverlauf wurden Zustände wahrgenommen, welche denen der Erwachsenen nicht entsprechen.

Grenzen der physiolog. und pathol. Temperaturen.

In vielen Fällen lassen sich die Grenzen zwischen physiologischen und pathologischen Temperaturen nicht immer mit vollkommener Sicherheit und Schärfe feststellen. Alle Temperaturen jedoch, welche die Werthe von 36,2 bis 36,3° C. und 37,5° C. in der Achselhöhle nach unten oder oben überschreiten, sind, falls nicht besondere physische oder psychische Umstände in Betracht kommen, als verdächtig anzusehen. Im Allgemeinen ist festzuhalten, dass alle Schwankungen der Eigenwärme des Gesunden gering und vorübergehend sind. Jede zufällige Störung gleicht sich schnell wieder aus.

Abnorme Temperatur als Kennzeichen des Krankseins.

Anders liegen die Dinge in Krankheitsfällen, und schon durch eine einzige Messung lässt sich meistens der Beweis erbringen, ob es sich um solche handelt. Krank ist jeder — und sollte er sich noch so wohl fühlen — bei welchem die thermometrische Messung einen Temperaturgrad ergiebt, der nicht innerhalb der physiologischen Breite liegt. Dagegen kann normale Eigenwärme neben Krankheit bestehen. Abweichungen von der normalen Temperatur können entweder örtlich auf bestimmte Organe beschränkt sein oder den Gesammtorganismus betreffen. In manchen krankhaften Zuständen besteht die Abnormität der Eigenwärme nur in einer auffallenden Beweglichkeit der Temperatur, das heisst: die Tagesschwankungen derselben sind beträchtlich. Schon geringfügige Einflüsse vermögen solche hervorzurufen.

Beweglichkeit der Temperatur in krankhaften Zuständen.

Ausser bei leichteren akuten und chronischen Erkrankungen finden sich derartige Verhältnisse bei nervöser Schwäche und Reizbarkeit, auch bei anhaltender geistiger Ermüdung und Ueberbürdung habe ich sie öfters nachgewiesen. Charakteristisch ausgebildete Temperaturanomalien zeigen insbesondere die akuten Infektionskrankheiten. Bei chronischen Krankheiten ist die Temperatur, dem unregelmässigen Fieber gemäss, von höchst wechselvoller Beschaffenheit. —

Krankhafte Temperatur bei Kindern und Erwachsenen.

Bei Kindern verhält sich die Eigenwärme in Krankheiten zwar im Allgemeinen wie bei Erwachsenen, doch unterliegt die Temperatur bei ersteren öfters einem schrofferen Wechsel, ferner reagirt sie meistens auf therapeutische Eingriffe schneller und beträchtlicher. Auch hat eine hochfebrile Temperatur im Kindesalter nicht immer die Bedeutung wie bei Erwachsenen.

Vergleicht man die Temperaturen, welche eine bestimmte Krankheit bei Greisen und jüngeren Individuen hervorbringt, so findet man meistens, dass die Höhe der Temperaturen bei ersteren geringer als bei letzteren ist. Die Tagesschwankungen der Temperatur sind bei Kranken viel erheblicher als bei Gesunden. Unterschiede von 1 bis 2° sind häufig, nicht selten erstreckt sich der Unterschied sogar über grössere Intervalle. Sehr bedeutende Schwankungen sind manchmal ein Zeichen von unregelmässigem Krankheitsverlaufe und eintretenden Komplikationen, aber auch geringe Tagesdifferenzen deuten bei heftigem Fieber auf solche, namentlich dann, wenn sich die Krankheit nicht mehr im Anfangsstadium befindet.

Tagesschwankungen der Temperatur bei Gesunden und Kranken.

Gebrauch des Thermometers am Krankenbette.

Zum Anlegen des Thermometers behufs Feststellung der Allgemeintemperatur kommen nur wenige Körperstellen in Betracht. Am häufigsten wird in der ärztlichen Praxis die Achselhöhle benutzt. Wenn es sich um wissenschaftliche Verwerthung längere Zeit fort-

gesetzter Messungen handelt, so wird das desinfizirte und eingeölte Instrument auch in den Mastdarm oder die Scheide eingeführt. Die Haut der Achselhöhle ist unter gewöhnlichen Verhältnissen mehr oder weniger abgekühlt, deswegen ist es erforderlich die Achselhöhle zweckmässig zu durchwärmen. Die Durchwärmung geschieht durch dichtes Anlegen des Oberarmes an die Seitenwand des Thorax. Das gewöhnliche ärztliche Thermometer nimmt die zu ermittelnde Temperatur erst nach 15 bis 20 Minuten langem Liegen an. Bei Anlegung eines Minutenthermometers wird die Temperaturmessung also erheblich abgekürzt. Da die Eigenwärme bei Fiebernden ebenso wie bei Ge-

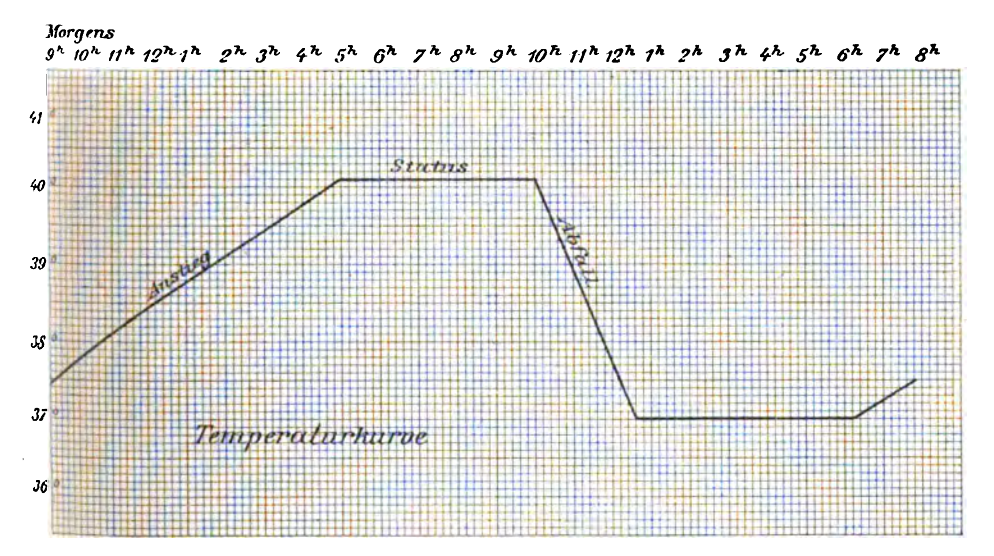


Fig. 234 A. Temperaturkurve des thermischen Fiebercyclus

sunden zwischen 7 und 9 Uhr Vormittags Mittelwerthe zeigt und zwischen 4 und 6 Uhr Nachmittags ihr Maximum erreicht, so ist es am zweckmässigsten, diese Zeiten auch während der Krankheit zur Messung der Temperatur zu wählen. Falls Wesen und Verlauf der Krankheit nicht noch besondere Zeiten zur Messung verlangen, so pflegt die genannte zweimalige Tagesmessung meistens zu genügen. Zur Messung sollte stets nur ein ärztliches, amtlich geprüftes Quecksilbermaximumthermometer angewandt werden.

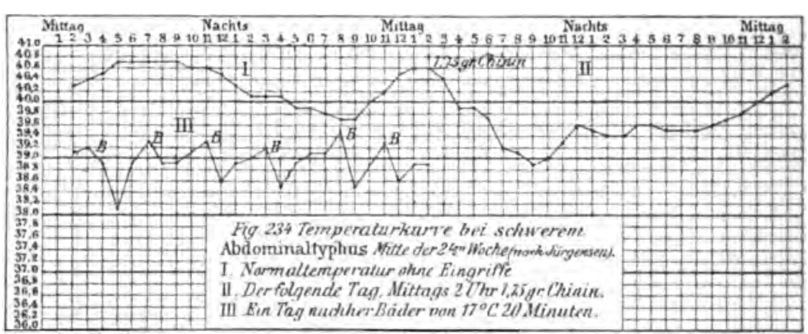
Graphische Darstellung der Temperatur eines Kranken.

Die Temperaturverhältnisse eines Kranken vergegenwärtigt man sich am besten in derselben Weise, wie dies in Bd. I auf p. 39 von Gesunden beschrieben wurde. Man trägt die beobachteten Werthe als Punkte in ein Koordinatennetz ein, verbindet die Punkte durch gerade

Linien und erhält auf diese Weise die Temperatur- (Fieber-) kurve. Dem Sachverständigen bietet die Kurve in der Regel ein vollkommenes Bild der Krankheit. Ein Blick auf die Kurve vermittelt häufig die Diagnose des betreffenden Falles, lässt die Nothwendigkeit weiterer Untersuchungs- und Beobachtungsmethoden, sowie den Grad und das Stadium der Krankheit erkennen und lässt sogar den Ausgang, in Sonderheit die tödtliche Wendung derselben, voraussagen. —

Gestalt der Temperaturkurve.

Der gewöhnliche Verlauf der Tagesfluktuation bei einem Fieber von mittlerer Intensität ist ungefähr folgender: Etwa um 9 Uhr Morgens beginnt das Ansteigen der Temperatur und dauert bis zum Nachmittage, dann bleibt die Temperatur einige Stunden auf gleicher Höhe und sinkt in den Abend- und Nachtstunden. Man kann also den Verlauf einer Fiebertemperatur, den sogenannten thermischen



Wirkliche Temperatur *bei Stundenmessungen.* Wahre Mittelwärme *nach Messungen von 5 zu 5 Min.*
I · 40°32. II · 39°71 III · 38°89.

Fig. 234 *B.*

Fiebercyclus, als in drei Perioden zerfallend betrachten: in die Periode des Anstiegs, des Status und des Abfalls (Fig. 234 *A*). Bei heftigem Fieber erscheint der Kurvengipfel häufig schon um Mittag und schwindet erst wieder in den späten Abendstunden oder in der Nacht. Die Dauer der Remissionstiefe verkürzt sich dann erheblich.

Bei schwachem Fieber bleibt die Temperatur längere Zeit niedrig, oft bis zum Mittag oder Nachmittag, erst gegen Abend steigt sie und der Kurvengipfel fällt in den Anfang der Nacht.

Der Kurvengipfel kann ein sehr verschiedenes Aussehen haben, bald ist er terrassenförmig (geradlinig), bald ist er mehr oder weniger spitz. In anderen Fällen besitzt der Kurvengipfel zwei bis drei Spitzen und die Einsenkungen zwischen diesen sind bald mehr, bald weniger tief. Die Fieberkurve ist nicht nur eine einfache Aufzeichnung der

vermehrten Körperwärme, sie giebt auch an, in welchem Umfange die vernichtenden Mächte thätig sind, welcher Widerstand ihnen entgegengesetzt wird, und in welcher Weise etwaige therapeutische Eingriffe wirken (Fig. 234 *B*).

Je kontinuirlicher die Temperaturkurve ist, desto grösser ist der Verbrauch an Lebensenergie im Fieber.

Anwendung des Wärmetasters.

Noch einer Anwendung des Thermometers für ärztliche Zwecke mag hier gedacht werden. Nach dem Prinzip der spezifischen Energie müssen in der Haut für Wärme- und Kälteempfindungen besondere Nervenfasern angenommen werden. Namentlich durch die Untersuchungen von Goldscheider (Archiv f. Psychiatrie und Nervenkrankheiten Bd. 18, Heft 3) hat sich herausgestellt, dass es überall auf der Haut sogenannte „Wärme- und Kältepunkte“ giebt. Diese Temperaturpunkte nehmen auf den Gliedmaassen nach dem proximalen Ende derselben an Zahl zu. Behufs eingehender Untersuchungen über die Lokalisation der Wärme- und Kälteempfindung der Haut unter physiologischen und pathologischen Verhältnissen eignet sich ein von Miescher und Runne angefertigtes Thermometer, welches Fig. 235 zeigt. Der Quecksilberbehälter befindet sich in einer trichterförmigen Metallkapsel, die in ein konisch gestaltetes, durch eine Scheidewand in zwei Längshälften getheiltes Rohr übergeht.

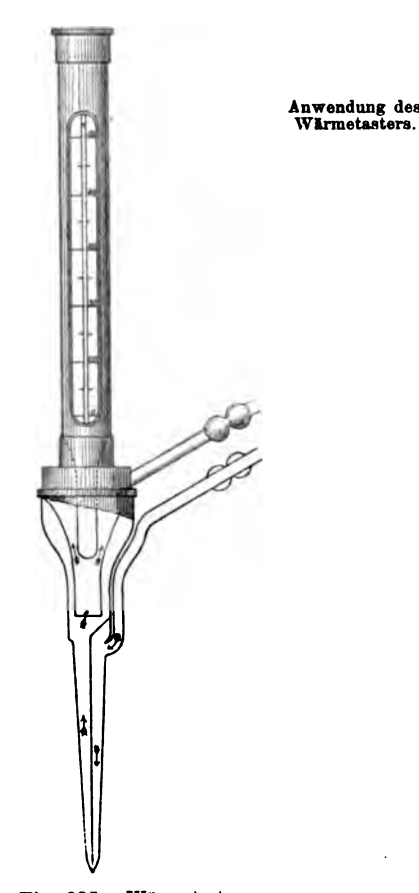


Fig. 235. Wärmetaster von Miescher und Runne.

An der abgestutzten Spitze des Rohres kommuniziren die beiden Hälften. Die Spitze kann mit einem kreisrunden Platinplättchen von 1 mm Durchmesser versehen werden. Mit dieser Platte wird das Instrument auf die Haut gesetzt. Durch das Röhrensystem wird Wasser von bestimmter Temperatur geleitet, welches zugleich die Thermometerkugel umspült. Mit dem Instrument, welches nicht unpassend „Wärmetaster“ genannt wird, lassen sich in bequemer Weise genaue Untersuchungen über die Temperaturempfindung der Haut anstellen. —

Historisches.

Historisches zur Thermometrie am Krankenbette.

Die grosse Bedeutung des Verhaltens der Eigenwärme in Krankheiten haben schon die Aerzte des Alterthums gewürdigt. Die Wärmeabweichungen durch Messung zu bestimmen und einer wissenschaftlichen Behandlung zugänglich zu machen, wurde erst durch die Erfindung des Thermometers ermöglicht.

Santorio Sanctorius, geb. 1561 in Capo d'Istria, Arzt in Venedig und Prof. der Med. in Padua; gest. am 24. Febr. 1636 in Venedig.

Der Erste, welcher Temperaturmessungen am Krankenbette ausführte, war Sanctorius. Er bediente sich hierzu des von Galilei erfundenen Luftthermometers, welches er für ärztliche Zwecke abänderte. Das lufthaltige Gefäss umfassten die Kranken entweder mit der Hand, oder es wurde ihnen für kurze Zeit (etwa während der Dauer von zehn Pulsschlägen) in den Mund gelegt. Van Helmont (Opera omnia. Francofurti 1682, Tractatus de febribus) bediente sich zu ärztlichen Temperaturmessungen eines Differentialthermometers. J. Chr. Sturm (Colleg experiment. 1676, 1. p. 56) führt unter den Anwendungen des Thermometers in damaliger Zeit besonders auch die am Krankenbette auf.

Borelli (1679) hat zuerst Untersuchungen über die Wärme innerer Organe mit Hülfe des Thermometers angestellt. Da es sich mehr um physiologische Beobachtungen handelte, so wurden dieselben an Thieren ausgeführt. Er hat die Temperatur im linken Herzventrikel eines Hirsches, ebenso die der Lunge, Leber und anderer Eingeweide ermittelt. Auch bei Kranken hat er das Thermometer angewandt, um für seine Fieberlehre Anhaltspunkte zu gewinnen.

Obgleich H. Boerhave (Aphorismi de cognoscendis et curandis morbis, Norimbergae: Felseckeri Hered. 1747 p. 149) thermometrische Untersuchungen an Fieberkranken anstellte, legte er doch das Hauptgewicht auf die Bewegung des Pulses. Grosse Verdienste um die medizinische Thermometrie erwarb sich ein Schüler Boerhave's, namens van Swieten (Comment. in Herm. Boerhav. Aphorismos de cognosc. et cur. morbis: Hildburghusae: J. G. Hanisch 1773 Tom. 2, p. 287 ff.) Als der eigentliche Begründer der medizinischen Thermometrie aber ist de Haën, ebenfalls Schüler Boerhave's, anzusehen. Er bespricht dieselbe in seiner Ratio medendi, Wien: H. J. Krüchten 1721—1773, Tom. 1, p. 29; Tom. 2, Cap. 3; Tom. 15, Index p. 72 ff. unter Calor. De Haën ist auch der Entdecker der Temperatursteigerung vor dem Fieberfroste und während desselben, der morgentlichen Remissionen, abendlichen Exacerbationen, der Unabhängigkeit des Pulses, sowie der hohen Temperatur bei der Agonie und der bisweilen auftretenden postmortalen Temperatursteigerung.

G. van Swieten 1700—1772.

Gerard van Swieten wurde am 7. Mai 1700 in Leiden geboren, er studirte Medizin in Löwen und Leiden, wo er als Arzt seinen Lehrer Boerhave im Amte vielfach vertrat. Der von ihm verfasste Commentar begründete seinen Ruf. Im Jahre 1745 wurde er durch Vermittelung des Fürsten Kanitz zum Leibarzt der Kaiserin Maria Theresia ernannt und siedelte nach Wien über. Hier hielt er Vorlesungen über das gesammte Gebiet der Medizin und entfaltete eine segensreiche Wirksamkeit. Eines seiner Hauptverdienste besteht darin, dass er das Studienwesen und die Büchercensur in Oesterreich der Oberaufsicht des Jesuitenordens entzog und eine staatliche Studienkommission ins Leben rief. „Die praktische Durchführung seiner wissenschaftlichen Grundsätze ebnete der Entwickelung deutscher Gelehrsamkeit den Boden, so dass die Wiener Fakultät schnell zu einer der ersten medizinischen Bildungsstätten, zu einem Muster für deutsche und ausserdeutsche Lehranstalten heranwuchs und durch eine Reihe ihr entsprossener, bedeutender Aerzte dauernden Ruhm gewann" (O. von Boltenstern: Die neuere Geschichte der Medizin p. 186 Leipzig, C. G. Naumann

(ohne Jahreszahl) 1899). Im Jahre 1758 wurde van Swieten, als er der Kaiserin das Leben gerettet hatte, in den Freiherrnstand erhoben. Er starb am 18. Juni 1772 in Schönbrunn bei Wien. Man vergl. Wilh. Müller: Gerhard van Swieten. Biographischer Beitrag zur Geschichte der Aufklärung in Oesterreich; mit dem Bilde van Swieten's. Wien, Braumüller 1883.

Anton de Haën, geb. am 8. Dezember 1703 in Leiden, wurde auf Vorschlag van Swieten's Professer der medizinischen Klinik in Wien. Er starb am 5. September 1776 in Wien.

A. de Haën 1703—1776.

Weiter ausgebildet wurde die Thermometrie am Krankenbett durch Ch. Chossat (1820), Becquerel (1835), J. Gavarret (1839) u. a. Im Jahre 1846 begann Zimmermann wichtige Untersuchungen und veröffentlichte sie unter dem Titel: „Ueber das Fieber und die Eigenwärme des Gesunden und Kranken" im Archiv für Pathologie und Therapie von 1851. Um dieselbe Zeit erschienen die bahnbrechenden Arbeiten von L. Traube: „Ueber den Einfluss der Blutentziehungen auf die Körpertemperatur in fieberhaften Krankheiten" und „Ueber Krisen und kritische Tage" in der Deutschen Klinik 1851 Bd. 3 p. 95, 110, 491, 515; 1852 Bd. 4 p. 155, 165, 173 und von Bärensprung's (Müllers Archiv 1851 p. 125 und 1852 p. 217). Daran reihen sich die regelmässig und folgerecht durchgeführten Messungen der Temperatur in der Leipziger Klinik durch Wunderlich. Derselbe Forscher hat auch die graphische Methode in die ärztliche Thermometrie eingeführt.

Ueber die zuletzt genannten drei Aerzte sei Folgendes gesagt: Charles Étienne Jacques Chossat wurde am 30. April 1796 in Carouge geboren, war Arzt in Genf und starb daselbst am 7. März 1875. (Plantamour: Mém. de la Soc. de phys. et d'hist. nat. Genève 1875/76, T. 24. p. 375).

Ch. E. J. Chossat 1796—1875.

Louis Dominique Jules Gavarret wurde am 18. Januar 1809 in Astaffort (Lot et Garonne) geboren, war Arzt und Professor der med. Physik in Paris und starb am 31. August 1890 zu Valmont (Seine inf.). (Briefl. Mittheilung der Bibl. nationale in Paris).

L. D. J. Gavarret 1809—1890.

Gustav Heinrich Eduard Zimmermann wurde am 27. Januar 1817 in Stettin geboren, war Oberstabsarzt zuletzt in Danzig und starb im Feldzug zu Prerau in Mähren am 19. August 1866 an der Cholera.

G. H. E. Zimmermann 1817—1866.

Ludwig Traube wurde am 12. Januar 1818 in Ratibor geboren. Er war der Bruder des Chemikers Moritz Traube (zu vergl. Bd. I, p. 779). Er war Professor der klinischen Medizin in Berlin und starb daselbst am 11. April 1876.

Ludwig Traube 1818—1876.

Friedrich Wilhelm Felix von Bärensprung wurde am 30. März 1822 in Berlin als Sohn des dortigen Oberbürgermeisters geboren. Er war dirigirender Arzt an der Charité in Berlin und starb am 26. August 1864 in der Irrenanstalt Hornheim bei Kiel.

v. Bärensprung 1822—1864.

Karl Reinhold August Wunderlich wurde am 4. August 1815 zu Sulz am Neckar als Sohn des dortigen Oberamtsarztes geboren und war Professor der klinischen Medizin in Tübingen und Leipzig. Er starb am 25. September 1878 in Leipzig. Einen Nekrolog schrieb A. Heubner im Archiv für Heilkunde 1878, Bd. 19. Wunderlich's auf die Temperaturmessung bezügliche Arbeit heisst: Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten. Leipzig 1870, 2. Aufl.

K. R. A. Wunderlich 1815 bis 1878.

Achtundzwanzigstes Kapitel.

Die Gravitation als verbreitetste Form der mechanischen Energie.

1. Allgemeines über die Gravitation.

Die am weitesten in der Natur verbreitete Art mechanischer Energie ist die von Galilei und Borelli geahnte, von Newton entdeckte allgemeine Gravitation.

Anziehung zweier isolirter Weltkörper von gleicher und verschiedener Masse.

Sie bewirkt die gegenseitige Anziehung der Weltkörper. Diese Anziehung ist gegen den Mittelpunkt derselben gerichtet. Denken wir uns für einen Augenblick, dass im Weltenraume nur zwei kugelige, mit Distanzenergie (zu vergl. Bd. I, p. 917) ausgerüstete Körper in beliebiger Entfernung von einander vorhanden seien. Bei der Umwandlung der Distanzenergie in Bewegungsenergie würden sich beide Körper gegenseitig nähern. Ihre Bewegung in geradliniger Bahn würde mit beschleunigter Geschwindigkeit (zu vergl. Bd. I, p. 118) erfolgen, welche für beide Körper gleich gross sein müsste, wenn sie dieselbe Masse, also dieselbe Kapacität für Bewegungsenergie (zu vergl. Bd. I, p. 119 u. Kap. 30) hätten. Die beiden Körper würden daher an einem Orte, welcher in der Mitte ihrer ursprünglichen Entfernung läge, zusammentreffen. Hätten die Körper aber verschiedene Masse, so würde aus diesem Grunde das Zusammentreffen beider an einem dem Ausgangspunkte des Körpers mit grösserer Masse näher gelegenen Orte erfolgen. Angenommen die Masse des einen Körpers verhalte sich zu der des anderen, wie die eines Regentropfens zu der unseres Planeten, dann würde der Weg, welchen der grosse Körper gegen den kleineren zurücklegt, einen nicht wahrnehmbaren Bruchtheil der ganzen Strecke ausmachen, und es hätte den Anschein, als bewege sich nur der kleinere Körper gegen den in Ruhe verharrenden grösseren.

Nun giebt es aber nicht nur zwei, sondern unzählbar viele Weltkörper und zwar von sehr verschiedener Masse. Zwischen

allen bethätigt sich nach Maassgabe ihres gegenseitigen Abstandes die Gravitation. Gäbe es nur Anziehung zwischen den Tausenden von Sonnen und deren Planeten, so müssten die letzteren längst in die zugehörigen Sonnen gestürzt sein. Wäre nur die seitlich fortschreitende Bewegung, welche allen Planeten zukommt, vorhanden, so müssten sie in gerader Linie ins Unendliche gehen. Dass weder der Zusammensturz noch die Flucht ins Unendliche stattfindet, sondern dass, wie man seit der Zurückweisung des Ptolemäischen Weltensystems durch Cop(p)ernicus und seit dem Ausbau von dessen Lehre durch Keppler und Newton weiss, die kleineren Weltkörper um die grösseren und mit diesen um die grössten sich in bestimmten Bahnen bewegen, ist eine Folge des Zusammenwirkens und der gegenseitigen Umwandlung von kinetischer und Distanzenergie. Die Distanzenergie nimmt, wie in Bd. I auf p. 917 angegeben, mit wachsender Entfernung der Körper zu, allerdings wird ihre Zunahme immer geringer, je grösser die Entfernung wird.

Klaudios Ptolemaïos aus Ptolemaïos in Oberägypten (?) lebte im 2. Jahrh n. Chr.

Nicolaus Cop(p)ernicus, geb. 19. Febr. 1473 in Thorn, Dr. med. u. Canonicus in Frauenburg (Ost-Preuss.), gest zwischen d. 17. u. 24 Mai 1543 in Frauenburg (?). (Als Copernicusforscher ist zu nennen: Leop. Fr. Prowe, geb. 14. Okt. 1821 in Thorn, Prof. am Gymnas. daselbst, gest 26. Sept. 1887 daselbst. Er veröffentl. über Copernicus, ausser zahlreichen kleineren Schriften, ein grosses zweibändiges Werk, Berlin 1883–84.)

Die Umlaufsgeschwindigkeit eines Planeten ist eine Funktion seiner Entfernung von der Sonne. An allen Stellen seiner Bahn, wo die Entfernung eines Planeten von der Sonne die gleiche ist, hat die Geschwindigkeit den gleichen Betrag. Am grössten ist sie, wenn die Distanzenergie am kleinsten ist d. h. in der Sonnennähe; am kleinsten ist die Geschwindigkeit beim grössten Werthe der Distanzenergie d. h. in der Sonnenferne.

Im Sinne der Energie würde sich das Newton'sche Gravitationsgesetz durch die Formel:

Formel für das Newton'sche Gravitationsgesetz im Sinne der Energie.

$$E_d = C - c\frac{m\,m_1}{l}$$

ausdrücken lassen, wo E_d die Distanzenergie, m und m_1, die in Wechselwirkung stehenden Massen und l deren Entfernung bedeutet. Der Sinn der Formel ist folgender: C bezeichnet den Maximalwerth der Distanzenergie. Dieser tritt ein, wenn $l = \infty$ ist.

In jeder endlichen Entfernung ist die Energie um einen bestimmten Betrag geringer, welcher direkt proportional dem Produkte aus m und m_1 und der aller ponderablen Materie zukommenden Konstanten c, dagegen umgekehrt proportional der Entfernung l ist. Die Grösse c heisst die spezifische Anziehungskonstante, deren numerischer Werth für alle beliebigen Arten von Materie derselbe ist und die Anziehung zwischen zwei, in der Einheit des Abstandes von einander befindlichen, je der Einheit der Masse gleichen materiellen Punkten darstellt.

Mit der Gravitation als einer Art der mit realer Existenz ausgerüsteten Energie darf deren Intensitätsfaktor, die Kraft, nicht verwechselt werden. Diese ist das Verhältniss der

Aenderung der Energie zu derjenigen der Strecke. Für die **Kraft** lässt sich das **Newton'sche** Gesetz durch die Formel geben:

Formel für das Newton'sche Gravitationsgesetz im Sinne der Kraft.

$$F = c\,\frac{m\,m_1}{{}^2}$$

In Worten: **Zwei Massen ziehen sich mit einer Kraft an, deren Grösse dem Produkte dieser Massen direkt, dem Quadrate ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist.**

Mathematische Betrachtung über die Abnahme der Kraft und Zunahme der Energie.

Dieses ergiebt sich aus folgender Betrachtung: Ist E'_d der Werth der Energie für die Entfernung l_1 und E''_d der Werth für die nur wenig von l_1 verschiedene Entfernung l_2, so hat man

$$E'_d = C - c\,\frac{m\,m_1}{l_1} \quad \text{und} \quad E''_d = C - c\,\frac{m\,m_1}{l_2} \quad \text{also:}$$

$$E'_d - E''_d = c\,\frac{m\,m_1}{l_2} - c\,\frac{m\,m_1}{l_1} = c\,m\,m_1\left(\frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1}\right) = c\,m\,m_1\,\frac{l_1 - l_2}{l_1\,l_2}.$$

Daher ist das Verhältniss der Aenderung $E'_d - E''_d$ der Energie zu derjenigen $l_1 - l_2$ der Strecke

$$\frac{E' - E''_d}{l_1 - l_2} = c\,\frac{m\,m_1}{l_1\,l_2}$$

Indem nun l_1 von l_2 wenig verschieden angenommen wurden, so kann man auf der rechten Seite der Gleichung l_1 für l_2 setzen und den Index bei l weglassen, auf diese Weise erhält man

$$c\,\frac{m\,m_1}{l^2}$$

als Ausdruck der Kraft in der Entfernung l.

Hieraus ergiebt sich, dass die **Kraft** mit **wachsender Entfernung abnimmt**. Dass hingegen die **Energie zunimmt**, kann folgendermaassen erkannt werden: Hat dieselbe in einer bestimmten Entfernung den Werth E^1_d, so kommt, wenn die Entfernung um eine kleine Strecke zunimmt, als Zunahme für die Energie das Produkt aus dieser kleinen Strecke und der Kraft an dieser Stelle hinzu.

Man nennt die Summe einer grossen Anzahl solcher Zunahmen ein **Integral**. Und in dieser Ausdrucksweise ist die Energie dann das Integral der Kraft über die in Betracht kommende Strecke. —

Das Wort **Integral** vom Lateinischen integer d. h. unberührt, unverletzt, weil durch diese Grösse die zugehörige ursprüngliche Funktion wieder erhalten wird, wurde von **Jakob Bernoulli** in die Mathematik eingeführt.

Jakob (I) Bernoulli, geb. 27. Dez. 1654 in Basel, Prof d. Mathem. daselbst, gest. 16. Aug. 1705 in Basel.

2. Die Schwere als Spezialfall der Gravitation.

Die zwischen der **Erde** und den auf oder in ihrer Umgebung befindlichen Körpern stattfindende **wechselseitige Anziehung** ist ein spezieller Fall der allgemeinen Gravitation und wird insbesondere

Schwere oder Schwerkraft genannt. Sie offenbart ihre Wirkungen in dem freien Falle und in dem Gewichte der Körper. Wenn ein nicht unterstützter Körper fällt, so sind die Theilstrecken, welche er dabei zurücklegt, in jeder folgenden Sekunde grösser, als in der vorhergehenden. Die Schwere bewirkt also eine beschleunigte Bewegung.

Die Schwere als Spezialfall der Gravitation.

Die Beschleunigung (Acceleration, lat. accelerare beschleunigen), deren Werth sich experimentell ermitteln lässt, wird mit dem Buchstaben g bezeichnet. In der ersten Sekunde erhält ein frei fallender Körper die Geschwindigkeit g, nach dem Trägheitsgesetze muss er diese in der zweiten Sekunde beibehalten, erhält aber noch g dazu, also besitzt er am Ende der zweiten Sekunde die Geschwindigkeit 2 g, am Ende der dritten Sekunde 3 g — und nach t Sekunden hat er die Geschwindigkeit t g. — Der Werth von g wird gewöhnlich durch Beobachtung von Pendelschwingungen festgestellt. Die Schwere ist merklich gegen den Erdmittelpunkt gerichtet. Die Regentropfen bei uns werden daher ebensowohl wie am Kap der guten Hoffnung bei ruhiger Luft senkrecht zur Erde fallen. — Streng genommen gilt die Anziehungsrichtung nach dem Mittelpunkte nur an den Polen und am Aequator, an anderen Orten dagegen finden sich Abweichungen, da die Erde keine vollkommene Kugel und auch nicht homogen ist. Die Schwere äussert sich in dem Bereiche unseres Planeten nicht überall mit gleicher Stärke. Sie verringert sich, wenn wir uns über die Oberfläche erheben, ein Umstand, welcher sich aus Newton's Gesetz erklärt. Die Schwere müsste sich ebenfalls verringern, wenn wir in die Erde eindringen. Nach den Untersuchungen R. von Sterneck's (Mitthlg. d. k. k. militär-georg. Inst. Wien 1882, Bd. 2 und spätere Bände, zu vergl. das Litvz.) ist dies nun aber zunächst nicht der Fall, sondern es zeigt sich im Gegentheil eine Zunahme der Schwere, wie daraus hervorgeht, dass die Schwingungsdauer eines Pendels in einer Tiefe von 516 m auf 0,500841 Sek. sank, während sie auf der Erdoberfläche 0,500855 Sek. betrug. In einer Tiefe von 972 m war allerdings keine weitere Verminderung der Schwingungsdauer zu bemerken.

Acceleration durch die Schwere.

Richtung der Schwere nach dem Erdmittelpunkt.

Abweichung von dieser Richtung.

In grösserer Tiefe erfolgt thatsächlich eine stetige Abnahme der Schwere, bis sie im Mittelpunkte der Erde gleich Null wird, so dass wir hier, wo es kein oben und unten giebt, ohne Befürchtung fallen zu müssen, jede Lage einnehmen und in derselben verharren könnten.

Verschiedenheit der Intensität der Schwere.

Die Ursache für die anfängliche Zunahme der Schwere im Innern der Erde liegt in der ungleichen Dichtigkeit des nicht homogenen Erdkörpers. In welcher Tiefe der Erde an Stelle der



Aequatorialkreises der grösste ist, folglich ist die Schwerkraft hier am kleinsten. Mit der Entfernung vom Aequator verkleinert sich der Radius der Kreise, in welchen die Körper auf der Oberfläche umgeschwungen werden, somit nimmt auch die Centrifugalkraft ab. Ueberdies ist die Richtung der Centrifugalkraft in den verschiedenen geographischen Breiten der Richtung der Schwere nicht mehr direkt entgegengesetzt, sondern bildet mit ihr denselben Winkel, durch welchen die Breite ausgedrückt wird. Es wird also der schwächende Einfluss der Centrifugalkraft auf die Schwere aus diesen beiden Gründen geringer, wenn wir uns den Polen nähern, woselbst die Centrifugalkraft gänzlich aufhört.

Da die Erde an den Polen abgeplattet ist und zwar nach Listing (astronom. Nachr. Nr. 2228) derartig, dass der Polarradius 6355270 m, der Aequatorradius 6377377 m beträgt, woraus sich das Verhältniss der Differenz zwischen Aequatorial- und Polarradius zum Aequatorialradius auf $\frac{1}{289,45}$ berechnet, und somit der Polarradius um etwa 22 km kürzer ist als der Aequatorradius, kommen wir dem Erdmittelpunkte näher, wenn wir uns vom Aequator nach den Polen hinbewegen; es muss daher auch die Schwere zunehmen, um an den Polen ihren grössten Werth zu erreichen.

Neuere Untersuchungen über die Gestalt der Erde.

Es soll hier nicht unerwähnt bleiben, dass die Erde nach den Bestimmungen des Kapitäns A. R. Clarke (Phil. Mag. (5) VI. August 1878 p. 81) ein dreiaxiges Ellipsoid, der Aequator also eine Ellipse ist. Die grosse Aequatoraxe (a) soll die Erdoberfläche im Busen von Guinea und in Westpolynesien, die kleine (b) in der Nähe von Ceylon und Panama treffen. Die Halbaxe a beträgt nach Clarke 20926629, die Halbaxe b 20925105, während die halbe Polaraxe c 20854477 englische Fuss misst; daraus ergiebt sich die Abplattung zu $\frac{1}{289,5}$ und $\frac{1}{295,8}$. Aus russischen Gradmessungen hat Schdanow andere Werthe erhalten. Man vergl. darüber Sapiski der kriegstopographischen Abtheilung des grossen russischen Generalstabs Bd. 49 und 50, St. Petersburg 1893 (in russischer Sprache). Nach neuesten Untersuchungen weicht die wahre Erdgestalt nicht nur von der einer Kugel, sondern auch von der eines Ellipsoids ab und stellt ein sogenanntes Geoid dar, dessen Meridiane und Breitenlinien weder Ellipsen noch Kreise, sondern komplizirte Kurven doppelter Krümmungen sind. Allerdings überschreitet die Abweichung vom Rotationsellipsoid wohl nirgends 250 m. Näheres findet man bei Helmert: Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie, Leipzig 1880. Interessantes bietet ferner der Aufsatz von H. Hergesell „Ueber die Veränderung der Geoidflächen eines beliebigen Massenkörpers, wenn dessen Masse einen kleinen Zuwachs erfährt“ (Petermann's geograph. Mittheilungen 1889, Bd. 35 p. 222), und die Arbeit von W. Hergesell: Die Formel von C. G. Stokes zur Berechnung regionaler Abweichungen des Geoids vom Normalsphaeroid, Inaug.-Diss. Strassburg 1891.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Schwere an den Polen sich immer gleich bleibt, ob nun eine Axendrehung der Erde vorhanden ist oder nicht. In allen anderen Gegenden aber ist der experimentell ermittelte Werth für g keine einfache Grösse, sondern stellt sich als Differenz dar zwischen der wahren, nach dem Erdmittelpunkte gerichteten Beschleunigung der Schwere und der entgegengesetzt gerichteten Centrifugalbeschleunigung. Bezeichnet man die durch die Schwere allein hervorgerufene Beschleunigung mit G, so ist die am Aequator beobachtete

Formel für g am Aequator.

$g_0 = G - \frac{v^2}{r}$ oder da $v = \frac{2\pi r}{t}$, $g_0 = G - \frac{4\pi^2 r}{t^2}$, wo t die Rotationsdauer der Erde in Sek. ist.

Für die geographische Breite φ berechnet sich unter Berücksichtigung aller in Betracht kommenden Einflüsse die Beschleunigung nach der Formel

Formel für g in der Breite φ.

$$g_\varphi = G\left(1 - \frac{1}{191}\cos^2\varphi\right).$$

Der Werth von g beträgt annäherend

Werth von g.

an den Polen	983 cm
am Aequator	978 cm
in mittleren geogr. Breiten . . .	981 cm.

3. Historisches über die Gravitation.

Historisches über die Ausmittelung der Schwere.

Die erste Bestimmung von g machte Huygens (1673) mit Hülfe des Sekundenpendels, von welchem er annahm, dass es überall auf der Erde gleich lang sein müsse.

Jean Richer, Mitglied der Akademie, gest. 1696 in Paris. (Biographisches war nicht zu ermitteln.)

Im Jahre 1671 ging der französische Astronom Richer im Auftrage der Akademie der Wissenschaften nach Cayenne. Er beobachtete unter Anderem, dass das Sekundenpendel dort kürzer sei als in Paris und schloss daraus, dass die Schwere am Aequator durch die Umdrehung der Erde verringert werde. Obgleich sich die Akademie dieser Entdeckung gegenüber sehr ungläubig verhielt, veröffentlichte er dieselbe in seinen „Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Cayenne" Paris 1679. Huygens wusste den Werth dieser Entdeckung voll zu würdigen und schloss sich Richer's Ansichten in seiner Dissertatio de causa gravitatis an.

Eukleides (Euklid), berühmtester Mathematiker des Alterthums, um 300 v. Chr. Als Geburtsort werden angegeben: Alexandria, Gela auf Sicilien und Tyrus. Gesammtausgabe von E.'s Schriften durch David Gregory, Oxford 1703 (mit griech. und lat. Text) und F. Peyrard Paris 1814–18.

Platon unterscheidet im Timaios leichte und schwere Körper. Erstere, wie die feurigen Dünste, steigen zu den Wolken empor, letztere sinken zur Erde nieder. Aristoteles stellte im 1. und 4. Buche seiner Schrift: Ueber das Himmelsgewölbe Betrachtungen über Schwere und Leichtigkeit an. Euklid verfasste eine nur als Bruchstück in lateinischer Sprache vorhandene Schrift: de levi et ponderoso.

Die arabischen Physiker, insbesondere Alkhazini, bezeichneten als Schwere der Körper ihre Eigenschaft, dass sie durch ihre eigene Kraft gegen den Mittelpunkt der Welt bewegt würden. Diese Kraft lässt sich den Körpern nicht nehmen; wenn sie nicht aufgehalten werden, bewegen sich alle, zur Ruhe würden sie erst

im Mittelpunkte der Welt kommen. Dass die Schwere proportional der Masse der Körper wirkt, war den arabischen Physikern wohl bekannt. Ob sie eine Ahnung von der Gravitation im Sinne Newton's hatten, muss dahingestellt bleiben. N. Khanikoff (Journal of the Am. Or. Soc. VI) ist geneigt dies anzunehmen. Dass die Bewegung frei fallender Körper eine gleichförmig beschleunigte ist, und dass die Schwerkraft auf ruhende Körper ebenso einwirkt wie auf bewegte, erkannte zuerst Galilei. Auch scheint er sich eine Vorstellung davon gebildet zu haben, dass die Schwerkraft sich über die Grenzen der Erde hinaus bethätigt und die Planetenbewegung verursacht. Der Erste aber, welcher diesen Gedanken deutlich aussprach, war Borelli, und zwar geschah dies in seiner Schrift: Theoria Mediceorum planetarum ex causis physicis deducta, Florent. 1666.

Isaak Newton 1642–1727

Wissenschaftlich begründet und ausgebaut wurde die Gravitationstheorie durch Isaac Newton. Derselbe wurde am 25. Dezember 1642 in Woolsthorpe, einem kleinen Dorfe im Kirchspiel Colsterworth in Lincolnshire geboren, wo sein Vater ein Gut besass.

In früher Jugend zeigte er bedeutendes mechanisches Talent. Er besuchte die öffentliche Schule von Grantham. Im Jahre 1660 bezog er, unterstützt von seinen Verwandten, die Universität Cambridge, wo er sich namentlich mathematischen Studien widmete. Vom Jahre 1666 ab beschäftigten ihn ausschliesslich seine mathematisch-astronomischen Untersuchungen über die Gravitation. Im Jahre 1669 wurde Newton Professor der Mathematik in Cambridge, 1699 Vorsteher der Münze in London; er befand sich dadurch in hoher Staatsstellung, welche mit bedeutendem Einkommen verbunden war. Im Jahre 1705 wurde er zum „Sir“ ernannt, er starb am 20. März 1727 in Kensington bei London.

Newton sah, wie allerdings in etwas naiver Auffassung erzählt wird, eines Tages einen Apfel vom Baume fallen, und begann über die Thatsache, die jedem anderen Menschen als etwas Selbstverständliches klar und einfach erscheint, ernstlich nachzudenken. Er stellte also, wie E. Mach (Zeitschrift f. phys. u. chem. Unterr. 1897 Bd. 10 p. 1) sich ausdrückt, darüber Gedankenexperimente an. Er forschte nach der Ursache, welche die Materie des Apfels in Bewegung setzte und erblickte sie in der gegenseitigen Anziehung zwischen ihr und der Erde. Er übertrug diesen Begriff auf das Sonnensystem und bewies, dass die Bewegungen aller Weltkörper die nothwendige Folge der allgemeinen Gravitation seien. Newton hat seine Untersuchungen über dieselbe in seinen „Principien“ niedergelegt. Eine hervorragende Biographie über Newton schrieb Brewster: Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton. Edinburgh 1855 2 vol.

Sir David Brewster, geb. 11. Dez. 1781 in Sedburgh, Roxburghshire, Schottland, nach einander Pharmaceut, Docent, Prof. d. Physik in St. Andrews, gest. 10. Febr. 1868 in Allerly, Melrose, Schottland. (Nekrolog: Proc. Roy. Soc. Lond. Vol. XVII, p. XIX.)

4. Bemerkungen über das Wesen der Gravitation.

Wenn wir uns nicht nur mit den bekannten Erscheinungen der Gravitation begnügen, sondern über das Wesen derselben nachdenken, so stossen wir alsbald auf einen schwierigen Punkt, in welchem sich die Distanzenergie mit der elektrischen und magnetischen Energie berührt. Aus den Beobachtungen über die Bewegung der Planeten und den freien Fall der Körper hat es den Anschein, dass die Gravitation auf weite Entfernungen durch den Raum zu wirken vermöge, während wir sonst, wie unsere eigene Muskelthätigkeit beweist, nur dort dynamische Wirkungen finden, wo zwischen Körpern Berührung stattfindet.

Die Annahme einer Fernwirkung enthält einen harten Gedanken, und es hat an Versuchen nicht gefehlt dieselbe zu beseitigen. Schon Newton fühlte,

wie aus seinen Briefen an Bentley hervorgeht, das Unbegreifliche der Fernewirkung (Actio in distans).

Richard Bentley, geb. 27. Jan. 1662 in Oulton, Yorkshire Fellow of Trinity College Cambridge, gest 14. Juli 1742 Ort? (Briefl. Mitth. der Royal Soc. London.)

„Gravity must be caused by an agent acting constantly according to certain laws; but wether this agent be material or immaterial, I have left to the considerations of my readers“ Letters to Dr. Bentley, Lett. III. Op. IV, p. 438. In seinen „Principien“ und am Ende seines Werkes: Optics or a treatise of the reflections etc. London 1704 hielt Newton die Möglichkeit einer Erklärung mit Hülfe des Aethers nicht für ausgeschlossen.

Eine eigenthümliche Erklärung der Gravitation suchte Le Sage in seiner Schrift: „Lucrèce newtonien“, Mém de l'acad. de Berlin 1782“ zu geben. Nach ihm sollte eine gegenseitige Annäherung der Körper dadurch bewirkt werden, dass sie einem stetigen Bombardement von Atomen ausgesetzt sind, welche aus Regionen stammen, die ausserhalb des uns bekannten Theiles des Weltensystems liegen. Sie durchfliegen in Strömen den Raum in allen Richtungen. Er nennt diese Atome ultramundane Körperchen und nimmt sie so klein an, dass ein Zusammenstoss derselben eine äusserst seltene Erscheinung ist. Die verschiedenen Seiten der Weltkörper, deren Grösse dabei wesentlich in Betracht kommt, erleiden das Bombardement aber nicht gleichmässig, sondern auf derjenigen Seite, mit welcher dieselben gegen einander gewendet sind, ist es, weil sie sich gegenseitig schützen, schwächer.

George Louis Le Sage, geb. 13 Juni 1724 in Genf, Privatmann, gest. 9 Nov. 1803 in Genf

W. Thomson (Proc. Roy. Soc. Edinb. 1871—72, Phil. Mag. 1873 4, p. 321) glaubte, dass man zu einer Erklärung der Gravitation gelangen würde, wenn man den Raum mit einer nicht zusammendrückbaren Flüssigkeit ausgefüllt sein liesse, welche von jedem Körpertheilchen in einer der Masse desselben proportionalen Menge aufgesogen und zugleich durch Zufluss aus unendlicher Entfernung ersetzt werden könnte. — In übersichtlicher Weise findet man die Hypothesen zur Erklärung der Gravitation zusammengestellt bei Isenkrahe: „Das Räthsel der Schwerkraft, Kritik der bisherigen Lösungen des Gravitationsproblems und Versuch einer neuen auf rein mechanischer Grundlage“ Braunschweig 1879, in welchem Werke ebenfalls der Versuch gemacht wird die Gravitation der Massen durch die Stösse von Aetheratomen zu erklären. Diejenigen von solchen Hypothesen, welche die Annahme einer ausserhalb der Grenzen des unserer Erkenntniss zugänglichen Weltensystems gelegenen Ursache erfordern, haben für die Naturforschung selbstverständlich keinen Werth. — Aetherdruck und Aetherverschiebungen erleichtern unser Verständniss für das Wesen der Gravitation wohl kaum. Wie für andere Energiearten, so ist es auch für die Gravitation mindestens zweifelhaft, ob dafür überhaupt die Annahme eines Trägers erforderlich ist. Dass ohne solche Annahme ein Mangel an Anschaulichkeit und eine Lücke in unserem Vorstellungsvermögen entstehen müsse, ist eine ungerechtfertigte Behauptung. Alle unsere Erfahrungen beruhen lediglich auf Energieübergängen von der Aussenwelt auf unsere Sinnesorgane und es giebt daher nichts Anschaulicheres für uns als die Energie selbst. Ueber Gravitation als potentielle Energie vergl. man G. Mie: Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung in den Sitzungsber. der Wiener Akad. 1898, Bd. 107, Abthlg. 2a p. 1113 u. 1180. — Eine sehr vollständige Zusammenfassung aller Hypothesen über die Gravitation gab P. Drude unter dem Titel: Ueber Fernwirkungen, Ref. für die 64 Versammlung deutscher Naturf. und Aerzte in Braunschweig 1897; Sektion f. Physik; abgedruckt in den Annalen der Physik und Chemie 1878 Bd. 62 p. I bis XLIX.

Vor einiger Zeit haben Bohl (Ann. d. Phys. u. Chem. 1889 N. F. Bd. 36, p. 346. Fürst B. Galitzin (Zeitschrift f. physik. Chem. 1889, 4 p. 417 u. Bull. de l'Acad. Imp. de St. Pétersbourg 1895 (5) 3, p. 1), sowie E. Heilborn (Zeitschrift f. physik. Chem. 1891, Bd. 7, p. 367) die Ansicht vertreten, dass das Newton'sche Attraktionsgesetz auch für die kleinsten Massentheilchen der Materie Gültigkeit habe.

In Bezug auf die allgemeine Massenanziehung, sowie auf die Schwere sei besonders auf folgende Literatur verwiesen:

G. B. Airy: Gravitation. An elementary explanation of the principal perturbations in the solar system. 2 Edit. London, 1884. Deutsche Ausgabe von Prof. Rudolf Hoffmann. Leipzig, Wilhelm Engelmann 1891.

E. Goldbeck: Die Gravitationshypothese bei Galilei und Borelli. Jahresber. des Luisenstädtischen Gymnasiums in Berlin, Ostern 1898. (Interessante historische Abhandlung über die Vorgeschichte der Gravitation im 17. Jahrhundert.)

Jarolimek: Ueber die Gravitation. Berichte der Wiener Akad. 1884, Bd. 88, p. 897.

A. Korn: Eine Theorie der Gravitation und der elektrischen Erscheinungen auf Grundlage der Hydrodynamik. Berlin, Dümmler 1894.

J. B. Messerschmidt: Relative Schwerbestimmungen. Das schweizerische Dreiecksnetz 1897. VII.

Odstrčil: Ueber den Mechanismus der Gravitation und des Beharrungsvermögens. Berichte der Wiener Akad. 1884, Bd. 89, p. 485.

S. Tolver Preston: On the importance of experiments in relation to the mechanical theory of Gravitation Phil. Mag. V. Ser. T. XI. 1881 p. 391.

Derselbe: Eine dynamische Erklärung der Gravitation. Berichte der Wiener Acad. 1883, Bd. 87, p. 795.

F. Richarz und O. Krigar-Menzel: Die Abnahme der Schwere mit der Höhe. Sitzungsberichte der Kgl. preuss. Akademie der Wiss. 1893 XIV. S. 163 ff.

F. Rosenberger: Isaac Newton und seine physikalischen Prinzipien. Leipzig 1895.

B. von Sterneck: Relative Schwerbestimmungen in den Jahren 1895 u. 1896. Mittheilg. des k. k. militärgeogr. Inst. 1898, 17, p. 1 ff. mit 1 Tafel.

William Thomson: On the ultramundane corpuscles of Le Sage also on the motion of rigid solids in a liquid circulating irrotationally through perforations in them or in a fixed solid. Phil. Mag. IV Ser. T. 45 May 1873, p 321.

P. Volkmann: Ueber Newton's „Philosophiae naturalis principia mathematica" und ihre Bedeutung für die Gegenwart. Sitzungsber. der physik-ökon. Ges. zu Königsberg v. 13. Jan. und 5. Mai 1898.

Jean Yarkowski: Hypothèse cinétique de la gravitation universelle, en connexion avec la formation des élements chimiques. Moscou 1888.

Zachariae: Relative Pendelmessungen in Kopenhagen mit Anschluss an Wien und Potsdam. Mit frz. Resumé. Oversigt o. d. Kong. Danske Vidensk. Selsk. Forhdl. 1897, p. 139 (E. C. Rasmussen hat die mittlere Acceleration in Kopenhagen zu 9,81579, auf der Insel Bornholm aus Messungen an 15 Stationen zu 9,81582 bestimmt).

5. Die Schwere in biologischer Beziehung.

Die Schwere ist nicht ohne Einfluss auf die Entwickelung und das Wachsthum der Organismen. Bei Pflanzentheilen, besonders

Stengeln und Wurzeln, die im Längenwachsthum begriffen sind, wird die Mechanik desselben durch die Schwerkraft in charakteristischer Weise beeinflusst. Man nennt diese Erscheinung den *Geotropismus* (gr. ἡ γῆ die Erde und τρέπομαι ich wende mich) und unterscheidet *positiv* und *negativ geotropische Organe*.

Geotropismus der Pflanzen.

Die ersteren, wie beispielsweise die Wurzeln, wachsen in der Richtung der Schwerkraft, die letzteren, wie beispielsweise die Stengel, wachsen in entgegengesetzter Richtung. Bringt man eine Keimpflanze, deren Wurzel senkrecht abwärts, deren Stengel senkrecht aufwärts gewachsen ist, in horizontale Lage, so äussert sich der *Geotropismus in der Weise*, dass sich das Ende des Stengels nach oben, das der Wurzel nach unten krümmt. Bei positiv geotropischen Organen erfolgt auf der von der Erde abgewandten Seite ein stärkeres Wachsthum, so dass diese Seite konvex wird, während die entgegengesetzte, der Erde zugewandte Seite konkave Gestalt annimmt. Bei negativ geotropischen Organen liegen die Wachsthumserscheinungen gerade umgekehrt. — Natürlich giebt es zahlreiche Einflüsse, wie Belichtung und Gewicht der wachsenden Theile, Feuchtigkeit und Struktur der Pflanzengewebe, welche dem *Geotropismus* entgegenwirken, so dass unter derartigen Verhältnissen andere Wachsthumsrichtungen eintreten, als wenn der *Geotropismus* allein in Betracht käme. Seitenzweige positiv geotropischer Hauptwurzeln zeigen sich häufig wenig oder gar nicht geotropisch, sondern wenden sich während ihres Wachsthums nach allen möglichen Richtungen. Oefters gleicht der *Geotropismus* die Wirkung des *Heliotropismus* (zu vergl. Bd. I, p. 209) aus, wenn die einseitige Belichtung aufhört.

Eigenthümliche Beziehung zum *Geotropismus* zeigen die Knoten der Gräser. Bei senkrechter Stellung der Halme hört das Wachsthum der Knoten alsbald auf. Lagern sich dagegen die Halme horizontal, so beginnen die Knoten auf ihrer Unterseite aufs Neue lebhaft zu wachsen, so dass der Halm bei unveränderter Lage der Internodien, am Knoten eine Knickung aufweist. Durch diesen Vorgang wird die Aufrichtung gelagerten Getreides ermöglicht.

Dass wirklich die Schwere die Ursache der besprochenen Wachsthumserscheinungen ist, geht aus der Einwirkung der *Centrifugalkraft* (zu vergl. Bd. I, p. 119) auf Wurzel und Stengel keimender Samen hervor. Werden diese unter Berücksichtigung der nöthigen Wachsthumsbedingungen in tangentialer Richtung auf einer, um eine vertikale Axe horizontal sich drehenden Scheibe befestigt, so folgen die Wurzeln bei bedeutender Drehungsgeschwindigkeit der Wirkung der Centrifugalkraft und wenden sich in horizontaler Richtung von der Drehaxe ab, während die Stengel dieser zustreben. Bei geringerer Rotationsgeschwindigkeit verschafft sich auch die Schwere noch Gel-

tung, und Wurzel und Stengel zeigen alsdann eine aus der Wirkung beider Einflüsse resultirende Wachsthumsrichtung. Bei vertikaler Rotation der Scheibe wirkt lediglich die Centrifugalkraft auf die wachsenden Pflanzentheile ein. Die Wurzel richtet sich, auch bei geringer Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe, radial nach aussen, die Keimknospe dagegen radial nach innen gegen das Rotationscentrum. Wird die Scheibendrehung so langsam, dass keine Centrifugalkraft auftritt, so wachsen die Organe weder in centrifugaler noch in gravitirender Richtung, sondern nach allen möglichen Richtungen, jedoch unter dem Einflusse innerer Wachsthumsursachen, die ungleich um die Wachsthumsaxe vertheilt sind und daher dort Krümmungen bewirken, wo sonst ein gerades Fortwachsen eintreten würde. —

Thomas Andrew Knight, geb. 1758 in Wormesley, engl Botaniker als Privatmann, Mitgl. d. Roy. Soc. (21. März 1805), gest. 1838 in Downton Castle, Herefordshire. (Briefl. Mitthlg. der Roy. Soc.)

Der Entdecker der Thatsache, dass es die Schwere ist, welche die geotropischen Erscheinungen hervorruft, heisst Knight. Er veröffentlichte seine Entdeckung unter dem Titel: On the direction of the radicle and germen during the vegetation of seeds in den Philosophical Transactions von 1806 p. 99. Eingehenderes über die Wirkung der Schwere auf das Längenwachsthum der Pflanzen findet man in dem Lehrbuche der Botanik von Jul. Sachs, Leipzig, Engelmann 1874; 3. Buch, Kap. 3 und 4. Daselbst auch weitere Literaturnachweise. Interessant ist die Abhandlung Alfr. Schobers: Die Anschauungen über den Geotropismus der Pflanzen seit Knight. Geschichtliche Studie eines physiolog. Problems. Hamburg, Herold 1899.

Einfluss der Schwere auf d. thier. Entw.

Ueber die Nothwendigkeit der Schwere für die Entwickelung thierischer Organismen hat zuerst E. Pflüger grundlegende Untersuchungen angestellt. Er zeigte, dass die Schwere die ersten Zelltheilungen im befruchteten Ei der Batrachier (gr. ὁ βάτραχος der Frosch) regelt, dass die Zeitdauer der Theilungsvorgänge im Ei von der Stellung der Eiaxe zur Richtung der Schwere abhängt und dass die Lage der Organe des Embryos durch die Richtung der Schwere bestimmt wird, eine Thatsache, die in der sogenannten Isotropie des Eies ihren Ausdruck findet. Durch Rauber sind die Ergebnisse der Pflüger'schen Untersuchungen an Forelleneiern im Allgemeinen bestätigt worden.

Bald darauf hat O. Schultze die Untersuchungen über die Abhängigkeit der Entwickelung von der Wirkung der Schwerkraft aufgenommen. Er fand, dass künstliche Aufhebung der stabilen Gleichgewichtslage des Froscheies, welche von der richtenden Wirkung der Schwere abhängt, zu Missbildungen in der Entwickelung oder zum Absterben des Embryos beziehungsweise des Eies führt. O. Schultze hat seine Untersuchungen mehrere Jahre lang unter Anwendung genauer Methoden fortgesetzt und es gelang ihm Angriffe gegen die Bedeutung der Schwerkraft für die Entwickelung als unberechtigt zurückzuweisen. —

Aus der Literatur sind folgende Arbeiten als die wichtigsten anzuführen:

J. Loeb: Untersuchungen zur physiologischen Morphologie der Thiere. Würzburg 1891 und 1892.

E. Pflüger: Ueber den Einfluss der Schwerkraft auf die Theilung der Zellen. Archiv für die gesammte Physiologie 1883, Bd. 31, p. 311 ff.

Derselbe: Ueber den Einfluss der Schwerkraft auf die Theilung der Zellen und auf die Entwickelung des Embryos. Daselbst 1883, Bd. 32, p. 1 ff. mit 2 Tafeln.

Derselbe: Ueber die Einwirkung der Schwerkraft und anderer Bedingungen auf die Richtung der Zelltheilung Daselbst 1884, Bd. 34.

Rauber: Schwerkraftsversuche an Forelleneiern. Berichte der naturf. Gesellschaft zu Leipzig 1884. Bericht vom 12. Febr.

Derselbe: Ueber den Einfluss der Schwerkraft auf die Zelltheilung und das Wachsthum. Daselbst 1884, 11. Nov.

O. Schultze: Ueber die unbedingte Abhängigkeit normaler thierischer Gestaltung von der Wirkung der Schwerkraft. Verhdlg. der anatom. Gesellschaft 1894, p. 117 ff.

Derselbe: Die künstliche Erzeugung von Doppelbildungen bei Froschlarven mit Hülfe abnormer Gravitationswirkung. Archiv für Entwickelungsmechanik der Organismen Bd. I, Heft 2, p. 269 ff. mit 2 Tafeln.

Derselbe: Neue Untersuchungen zur Frage von der Nothwendigkeit der Schwerkraft für die Entwickelung. Verhdlg. der anatom. Ges. 1897 p. 109 ff.

Derselbe: Neue Untersuchungen über die Nothwendigkeit der richtenden Wirkung der Schwerkraft für die Entwickelung. Sitzungsber. der physikal. med. Ges. zu Würzburg. Sitzung vom 13. Mai 1897.

F. Schwarz: Der Einfluss der Schwerkraft auf die Bewegungsrichtung von Chlamydomonas und Euglena. Sitzungsber. der deutsch. botan. Gesellschaft II.

Neunundzwanzigstes Kapitel.

Elementare Erläuterung des Potentialbegriffes in Bezug auf die Gravitation.

Gegenstand der Potentialtheorie.

Diejenigen Kräfte, deren Wirkungen im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der wachsenden Entfernung abnehmen, und zu diesen gehören ausser der Anziehung schwerer Massen noch die elektrische und magnetische Anziehung, hat man zum Gegenstande physikalisch-mathematischer Betrachtungen gemacht, welche den Inhalt der so-

genannten Potentialtheorie bilden. In den meisten Lehrbüchern, welche sich mit derselben eingehend beschäftigen, findet man den Begriff des Potentials gewöhnlich als Funktion mit Hülfe der höheren Mathematik behandelt. Eine solche Erörterung setzt selbstverständlich eine gründliche Kenntniss der letzteren voraus. Was aber die rein physikalische Bedeutung des Potentials anbelangt, so lassen sich darüber ganz allgemeine Betrachtungen auch ohne diese Methode, die weit über den Rahmen dieses Buches hinausgreifen würde, anstellen.

Gravitations- oder Kraftfeld der Erde.

Der die Erde umgebende Raum, in welchem sich die von ihr ausgehende Schwere bemerkbar macht, heisst das Gravitationsfeld, oder, weil sich die Schwere in Anziehung äussert, das Kraftfeld der Erde. Alle diejenigen Linien, welche man sich durch dieses Feld und den Erdmittelpunkt gelegt denken kann, bezeichnen die Richtung der Schwerkraft, sie werden Kraftlinien des Gravitationsfeldes genannt. Alle geschlossenen Flächen, welche man sich in den verschiedensten Abständen konzentrisch zum Mittelpunkte der Erde um dieselbe in Gedanken zu konstruiren vermag, so dass sie von den Kraftlinien senkrecht geschnitten werden, heissen Niveauflächen. Von diesen können wir uns unendlich viele vorstellen.

Kraftlinien.

Niveauflächen.

Denken wir uns in dem derartig beschaffenen Gravitationsfelde auf einer der Niveauflächen einen materiellen Punkt, welcher die Masseneinheit repräsentirt, so wird er sich, dem Einflusse der Schwere überlassen, in der Richtung gegen den Erdmittelpunkt bewegen. Solange sich dieser Punkt auf einer und derselben Niveaufläche bewegt, ändert sich die Intensität der auf ihn wirkenden Schwere nicht. Wird derselbe aber auf eine andere, der Erde näher oder entfernter gelegene Niveaufläche versetzt, wobei es gleichgültig ist, ob der von ihm zurückgelegte Weg gerade oder gekrümmt ist, so ändert sich für ihn die Schwerkraft nach dem Newton'schen Gesetze, indem ihre Stärke dem Quadrate des Radius jener Fläche umgekehrt proportional ist. Bezeichnet man mit r den Radius der Erde, mit r_1 den Radius derjenigen Niveaufläche, auf welcher sich der materielle Punkt befindet, mit a die Intensität der Schwere auf der Erdoberfläche und mit x die Anziehung auf der Niveaufläche, so lässt sich die Intensität der Anziehung auf letzterer durch folgende Proportion finden:

$$a : x = r_1^2 : r^2 \text{ woraus}$$

$$x = a \cdot \frac{r^2}{r_1^2}$$

Während der Anziehung des materiellen Punktes aus unendlicher Entfernung durch die Schwere wird mechanische Arbeit verrichtet. Diese ist auf verschiedenen Niveauflächen verschieden

gross, auf ein und derselben Niveaufläche dagegen die nämliche. Die Niveauflächen sind also Flächen gleicher Arbeit. Diejenige Arbeit nun, welche die Schwere leistet, um die in einem Punkte konzentrirt gedachte Masseneinheit von irgend einem Orte einer unendlich entfernten Niveaufläche nach einem Orte einer im Endlichen gelegenen zu bewegen, wird das Potential der Erde oder das Gravitationspotential dieses Ortes genannt. — Jede Niveaufläche ist eine Fläche konstanten Potentials. Zwei verschiedene Niveauflächen besitzen Potentiale von verschiedenem Werthe. Den Unterschied dieser Werthe nennt man die Potentialdifferenz. Befinden sich zwei Punkte im Gravitationsfelde der Erde in so geringer Entfernung von einander, dass man die Anziehung für beide als annähernd gleich gross und gleich gerichtet ansehen kann, bezeichnet man dann diese Punkte mit A und B, und mit V_a und V_b die ihnen zukommenden Potentialwerthe, so nennt man den Quotienten aus der Potentialabnahme V_a—V_b und des geradlinigen Abstandes der Punkte A und B, also die Grösse: $\frac{V_a - V_b}{AB}$ das Gefälle des Gravitationspotentiales beim Punkte A in der Richtung von A nach B.

Definition des Potentials, insbesondere in Bezug auf die Anziehungskraft der Erde.

Definition der Potentialdifferenz.

Definition des Potentialgefälles.

Die obige Definition des Potentiales lässt sich anderen Energieformen, deren Wirkung in Anziehung besteht, welche nach dem Newton'schen Gesetze erfolgt, leicht anpassen.

Historisches über die Einführung des Potentials.

Das Wort Potential (lat. potentia Kraft) brauchte in dem obigen Sinne zuerst Gauss in seiner 1839 verfassten Abhandlung: „Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungkräfte.“ Dieselbe findet sich in seinen von der kgl. Gesellschaft der Wiss. in Göttingen herausg. Werken. Göttingen 1867, Bd. 5, p. 197 ff., aufgenommen in Ostwald's Klassikern Nr. 2.

Ein Decennium vor Gauss hatte schon der englische Mathematiker George Green denselben Begriff unter dem Namen Potentialfunktion bei physikalischen Untersuchungen über Elektricität und Magnetismus verwerthet. Er berichtet darüber in seiner Arbeit: „An essay on the application of mathematical analysis to the theories of electricity and magnetism“ Nottingham 1828. Die Arbeit findet sich, nebst einer Biographie ihres Verfassers, abgedruckt in Crelle's Journal für reine und angewandte Mathematik, Bd. 39, 44 und 47, und in Ostwald's Klassikern Nr. 61. Die Benutzung dieses Begriffes zur Bestimmung von Anziehungskräften, welche wie die Schwere wirken, reicht übrigens nach R. Baltzer: „Zur Geschichte des Potentials“, Crelle's Journal, Bd. 86, 1878, p. 215, bis auf Lagrange zurück.

George Green, geb. 14. Juli 1793 in Nottingham, gest. 31. März 1841 in Sneinton.

Joseph Louis Comte de Lagrange wurde am 25. Januar 1736 in Turin geboren. Er war Professor der Mathematik an der Artillerieschule in Turin,

J. L. Comte de Lagrange 1736—1813.

später Präsident der Berliner Akademie, dann Professor der Mathematik an der École normale et polytechnique in Paris. Er starb am 10. April 1813 in Paris.

Wer sich eingehender mit der Potentialtheorie beschäftigen will, dem ist folgende Literatur zu empfehlen:

Enrico Betti: Lehrbuch der Potentialtheorie und ihrer Anwendung etc. Deutsche Ausgabe von Frz. Meyer. Stuttgart, Kohlhammer 1885.

G. Holzmüller: Das Potential und seine Anwendung auf die Theorien der Gravitation, des Magnetismus, der Elektricität, der Wärme und der Hydrodynamik. Leipzig, Teubner 1898.

Hovestadt: Lehrbuch der angewandten Potentialtheorie in Kleyer's Encyklopädie, Stuttgart 1890.

Neumann: Vorlesungen über die Theorie des Potentials. Leipzig, Teubner 1887. (Rein mathematisch.)

Tumlirz: Das Potential und seine Anwendung. Hartleben's elektrotechn. Bibliothek 1884.

Dreissigstes Kapitel.

Gewicht und Masse; spezifisches Gewicht und Dichte.

1. Allgemeines über Gewicht und Masse.

Wenn wir unter gleichen Bedingungen zwei Körper von gleichem Stoff aber verschiedenem Volumen vergleichen, so gewinnen wir eine Vorstellung von der Menge der Materie. Wir haben die feste Ueberzeugung, dass 2 l Wasser genau die doppelte Menge von Materie enthalten als 1 l desselben Wassers. Es steht ferner mit unserer Erfahrung völlig im Einklang, dass die Menge eines Körpers unverändert bleibt, wenn wir demselben nichts hinzufügen oder von ihm nichts wegnehmen, mögen seine Existenzbedingungen sich ändern oder nicht.

Landläufiger Begriff der Masse.

Wenn wir 1 l Wasser gefrieren lassen oder in Dampf verwandeln, so ändern sich Aggregatzustand und Volumen, aber die Stoffmenge bleibt unverändert. Diese bei allen Wandlungen sich stets gleichbleibende Menge eines Körpers wird häufig als seine Masse bezeichnet. Eine weitere Erfahrungsthatsache ist es, dass mit der Stoffmenge eines Körpers auch sein Gewicht proportional zunimmt. Der Gebrauch der Waage zur Messung einer Stoffmenge erklärt sich daraus,

Irrthümliche Gleichsetzung der Begriffe Gewicht u. Masse.

dass in der gewöhnlichen Sprechweise Gewichtsbezeichnungen ganz geläufig als Massenbezeichnungen gebraucht werden, beispielsweise 1 Pfund Blei, 1 Centner Baumwolle, dass also den Wörtern Masse und Gewicht gleiche Bedeutung beigelegt wird (zu vergl. Bd. I, p. 106). Ein derartiges Verfahren ist jedoch wissenschaftlich durchaus unzulässig, da man es mit verschiedenen Begriffen zu thun hat. Das Gewicht ist nämlich nicht von der Stoffmenge allein abhängig. Bestimmt man mit der Federwaage das Gewicht von 1 l Wasser in unseren Breiten und dann am Aequator, so findet man, dass dort die Feder weniger stark beansprucht wird als bei uns, dass die Waage nicht 1 kg, sondern eine gewisse Anzahl Gramme weniger anzeigt. Um die Ursache dieser Aenderung zu erkennen, hat man nur zu bedenken, dass das Gewicht eine Aeusserung der Schwerkraft ist, also durch Anziehung bedingt wird, und dass die Schwerkraft an verschiedenen Orten mit verschiedener Stärke wirkt.

Gewicht wird bedingt durch Anziehung.

In besonderer Weise macht sich die Schwerkraft beim freien Fall der Körper bemerklich, und die Beobachtung lehrt, dass die Beschleunigung, welche ein Körper beim freien Fall annimmt, entsprechend der verschiedenen Stärke der Schwerkraft, ebenfalls veränderlich ist und zwar in derselben Weise wie das Gewicht. Gewicht und Fallbeschleunigung eines Körpers sind einander also proportional. Man kann daher, um die Abhängigkeit des Gewichtes eines Körpers sowohl von dessen Stoffmenge, als auch von der Veränderlichkeit der Schwerkraft zum Ausdruck zu bringen, die Gleichung aufstellen:

Proportionalität zwischen Gewicht und Fallbeschleunigung.

$$P = m \cdot g$$

worin P, m und g die Maasszahlen für Gewicht, Masse und Erdbeschleunigung sind, gemessen in Einheiten, die weiter unten besprochen werden.

Aus der Gleichung $P = m \cdot g$ folgt $m = \frac{P}{g}$, wodurch darauf hingewiesen wird, dass, für einen bestimmten Körper, P und g zwar veränderlich, aber einander proportional sind, und in Folge dessen ihr Verhältniss, also m, das Maass für die Masse, ebenso wie die Stoffmenge, unveränderlich und unabhängig von dem Orte ist, wo man sich befindet.

Betrachten wir den Gegenstand jetzt von einem allgemeineren Standpunkte, indem wir statt der Schwerkraft irgend einen anderen mechanischen Antrieb ins Auge fassen.

Wirkt derselbe auf einen Körper ein, dessen Bewegung verhindert ist, so äussert er sich, gerade wie die Schwerkraft als Druck oder

Statistisches Maass.

Zug. Die Grösse (F) dieses Druckes oder Zuges kann als Kraftmaass gelten, und in diesem Falle nennt man letzteres das statische Maass.

Wirkt der Antrieb hingegen auf einen, in seiner Richtung frei beweglichen Körper ein, so setzt er, geradeso wie es die Schwerkraft thut, den Körper in beschleunigte Bewegung. Hierbei überwindet er das dem Körper innewohnende Beharrungsvermögen oder den Trägheitswiderstand (zu vergl. Bd. I, p. 112). Je grösser der Widerstand in Folge des Beharrungsvermögens ist, desto kleiner fällt bei konstantem Werth der Kraft die Beschleunigung aus. Der Trägheitswiderstand wächst aber mit der Masse als Stoffmenge gedacht. Je grösser bei gleichbleibendem Antrieb die Stoffmenge, desto kleiner die Beschleunigung. Soll beispielsweise auf einer horizontalen Bahnstrecke ein stehender Kohlenwagen von Arbeitern fortgeschoben werden — von der Reibung möge abgesehen werden — so fällt die Bewegung um so langsamer aus, die Beschleunigung ist um so kleiner, je mehr Kohlen der Wagen trägt. Der Antrieb muss also um so grösser sein, je grösser die Masse ist und je grösser die zu ertheilende Beschleunigung sein soll.

Masse als Bewegungswiderstand.

Dynamisches Maass.

Diesen Zusammenhang drückt die Mechanik durch die Gleichung $F = m \, . \, a$ aus. Hierin bedeutet der Faktor a die Beschleunigung und m die Stoffmenge oder, wie wir jetzt auch sagen können, den Trägheitswiderstand oder Widerstand gegen Bewegungsenergie. Wird, wie in obiger Gleichung, der Bewegungsantrieb durch die Masse und die Beschleunigung gemessen, so nennt man diese Art zu messen das dynamische Kraftmaass. Es ist nun ersichtlich, dass man mit dem Begriff der Masse nicht nothwendig die Vorstellung einer Stoffmenge zu verbinden braucht. Diese Vorstellung ist nur geläufig, so lange wir chemisch gleichartige Körper mit einander vergleichen. Sind die Körper jedoch verschiedener Art, wie Wasser und Quecksilber, so haben wir von vornherein keine Vorstellung von dem Verhältniss der in ihnen enthaltenen Stoffmenge. Wir können aber chemisch verschiedene Körper in Bezug auf ihr Verhalten Kräften gegenüber vergleichen, und wir können die Massen solcher Körper in diesem Sinne als gleich betrachten, wenn sie denselben Trägheitswiderstand $m = \frac{F}{a}$ besitzen.

Diese Definition der Masse als Trägheitswiderstand ist daher die allgemeine, wissenschaftliche.

Sie schliesst die Definition der Masse als Stoffmenge für gleichartige Körper in sich.

Die Zusammenstellung der Gleichungen $F = m . a$ und $P = m . g$ zeigt uns, dass wir das Gewicht unterstützter Körper als Kraft, also als Druck oder Zug von bestimmter Grösse, zu betrachten haben. Bei frei beweglichen Körpern bewirkt das Gewicht, wie gesagt, den Fall derselben mit einer gewissen Beschleunigung g. Nun fallen aber im luftleeren Raume, wie die Versuche mit sogenannten Fallröhren lehren, alle Körper an demselben Erdenorte mit gleicher Beschleunigung. Bezeichnen daher P und P_1 die Gewichte zweier Körper von den Massen m und m_1, so hat man für einen Ort mit der Fallbeschleunigung g

$$P = m . g \text{ und } P_1 = m_1 g$$

$$\text{also } \frac{P}{P_1} = \frac{m . g}{m_1 . g} = \frac{m}{m_1} .$$

Für einen anderen Ort, an dem die Beschleunigung g^1 wäre, hätte man ebenso:

$$\frac{P}{P_1} = \frac{m g^1}{m_1 g^1} = \frac{m}{m_1}$$

Proportionalität zwischen Gewicht u. Masse.

An jedem Erdenorte sind daher die Gewichte zweier Körper ihren Massen streng proportional, wie auch immer die diesem Orte zukommende Fallbeschleunigung sein möge. Gleichen Gewichten entsprechen also gleiche Massen.

Wenn man daher auf der Balkenwaage mit einem Kilogrammstück eine Wägung in unseren Breiten ausführt und dieselbe etwa am Aequator wiederholt, so erhält man hier wie dort gleiche Massen des gewogenen Körpers, da sie jedesmal gleich der unveränderten Masse des Kilogrammstückes sind, obgleich dieses am Aequator ein kleineres Gewicht hat als bei uns. Man kann daher überall mit demselben Gewichtssatze Wägungen ausführen. Dabei ist jedoch zu betonen, dass im Grunde nicht die Gewichte der gewogenen Körper, sondern deren Massen bestimmt werden, und mit Recht ist vielfach hervorgehoben worden, dass unsere sogenannten Gewichtssätze eigentlich Massensätze sind.

Abnahme des Gewichtes mit der Entfernung von der Erdoberfläche.

Aus dem Fundamentalgesetze von Newton wissen wir, dass die Schwerkraft im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung vom Erdmittelpunkte abnimmt. In einem Abstande von diesem, welcher dem doppelten oder dreifachen Erdradius gleich ist, würde die Schwerkraft also nur den vierten, beziehungsweise neunten Theil von der Schwerkraft auf der Erdoberfläche betragen. Es würde somit unser eigenes Körpergewicht geringer werden, wenn wir uns in einem Luftballon von der Erde entfernen.

Das Gewicht eines Körpers müsste überdies abnehmen, wenn er ins Innere der Erde gebracht würde, ja im Mittelpunkte wäre sein Gewicht gleich Null. Alle diese Aenderungen würde man durch die Federwaage, jedoch nicht durch die Balkenwaage nachweisen können; denn sie erstrecken sich natürlich in gleicher Weise auf die zur Verwendung gelangenden Gewichtsstücke.

Wäre die Erde hohl, so behielte ein in den Hohlraum gebrachter Körper zwar seine Masse unverändert bei, er würde aber kein Gewicht mehr haben da die Anziehungskräfte der einzelnen Theile der Kugelschale, wie in der Mechanik bewiesen wird, sich gegenseitig aufheben.

Dass wirklich gleichen Massen gleiche Gewichte entsprechen, lässt sich durch allerlei Versuche zeigen. Bringt man auf die eine Schale einer Waage ein Wasser enthaltendes Gefäss und auf die andere Schale so viele Gewichtsstücke, dass Gleichgewicht herrscht, so bleibt dieses auch dann bestehen, wenn das Wasser ganz oder theilweise in Eis verwandelt wird. Ein anderer Versuch ist folgender: Man setzt auf die eine Schale ein Gefäss, welches destillirtes Wasser enthält. Ueber den Rand des Gefässes legt man einen Glasstab, an welchem ein Porzellaneimerchen mit siebförmig durchbrochenem Boden hängt, ohne dass der letztere das Wasser berührt. Auf dem Siebboden legt man äquivalente Mengen (zu vergl. Bd. I, p. 709) von Kochsalz und Silbernitrat (zu vergl. Bd. I, p. 450) und bringt dann die Waage durch Auflegen von Gewichten auf die andere Schale ins Gleichgewicht. Hängt man darauf das Eimerchen so tief, dass Wasser durch den Siebboden eindringt, so lösen sich die beiden festen Stoffe auf und treten zu einander in chemische Wirkung, wobei sich Natriumnitrat und Silberchlorid bilden. Da die Stoffe hierbei aber weder Verminderung noch Vermehrung erleiden, die Stoffmenge der Körper also unverändert bleibt, so wird das Gleichgewicht an der Waage nicht gestört.

2. Gewicht und Masse im technischen und absoluten Maasssystem.

Messung der Grössen Kraft, Masse, Beschleunigung.

Die in den Gleichungen $P = m.g$ oder $F = m.a$ vorkommenden Grössen Kraft (beziehungsweise Gewicht), Masse und Beschleunigung können nicht alle drei mit willkürlich gewählten Einheiten gemessen werden. Soll beispielsweise 2 beliebig gewählten Einheiten der Masse eine Beschleunigung von 3 Längeneinheiten (etwa Metern) in der Zeiteinheit ertheilt werden, so muss, damit obige Gleichungen richtig bleiben, die erforderliche Kraft durch die Maasszahl 6 gemessen sein, d. h. der sechste Theil dieser Kraft muss als Krafteinheit gewählt werden. Die drei Einheiten sind durch die Beziehung verknüpft: Die Krafteinheit ertheilt der Masseneinheit die Einheit der Beschleunigung.

Die Beschleunigung wird allgemein in Metern oder Centimetern in der Sekunde angegeben. Von den zwei anderen Einheiten kann

noch eine willkürlich gewählt werden — die dritte ist dann mitbestimmt —, und zwar ist es an sich gleichgültig, welche von beiden willkürlich gewählt wird. In der Praxis ist thatsächlich von Einigen die Krafteinheit, von Anderen die Masseneinheit willkürlich gewählt worden und auf diese Weise sind zwei Maasssysteme entstanden, das technische und das absolute System. Dasselbe Wort: Gramm beziehungsweise Kilogramm dient in dem einen System als Bezeichnung für die Krafteinheit, in dem anderen als Bezeichnung für die Masseneinheit.

Technisches u. absolutes Maasssystem.

Hierdurch wird leider Gelegenheit zu Verwechselungen geboten, und man hat daher in den einzelnen Fällen wohl zu beachten, in welchem System gerechnet wird. Betrachten wir zunächst das technische System, welches auch praktisches oder, weil man darin an die Anziehung seitens der Erde denkt, irdisches System genannt wird. Bei Einführung der Bezeichnungen Gramm beziehungsweise Kilogramm dachte man sich diese als Einheiten des Gewichtes, und man beabsichtigte damit die Grösse eines durch die Erdanziehung bewirkten Druckes auf eine Unterlage, also eine Kraft zu messen. Es wurde festgesetzt, dass 1 Gramm, das Gewicht von 1 ccm destillirten Wassers von $+4^0$ C., die Krafteinheit ist.

Das technische System.

Weiter oben haben wir gesehen, dass dieses Gewicht aber veränderlich ist. Um genau zu definiren, müsste also noch hinzugefügt werden, für welchen Erdenort diese Einheit gelten soll. In der Praxis begnügt man sich damit, die Definition auf die mittlere Breite von 45^0 zu beziehen. Um den internationalen Abmachungen zu entsprechen, sollte man die Breite von Paris wählen.

Um zur Masseneinheit im technischen System zu gelangen, überlegen wir, dass alle Körper, also beispielsweise auch ein Grammstück, beim freien Fall die gleiche Beschleunigung von 981 cm in 45^0 Breite erhalten. Denken wir uns, zur näheren Erläuterung, von einem Körper von 981 Gramm Gewicht 1 Gramm abgelöst. Der Körper von 980 Gramm möge auf einer horizontalen Bahn ohne Reibung beweglich sein. Bewegung möge diesem Körper durch das abgelöste Grammstück ertheilt werden, welches an einer mit ihm verbundenen und über eine Rolle laufenden Schnur hängt. Die beschleunigend wirkende Kraft ist hier nur das Gewicht von 1 Gramm, da die auf den, auf horizontaler Bahn befindlichen Körper von 980 Gramm Gewicht wirkende Schwerkraft hinsichtlich seiner Bewegung nicht zur Beschleunigung beiträgt.

Die in Bewegung gesetzten Massen sind nun aber $980 + 1 = 981$ mal so gross, als die Masse eines Grammes, es muss daher die erzielte

Beschleunigung 981 mal geringer sein, als wenn das Grammstück frei fiele; sie wird folglich nur 1 cm betragen.

Die in einem Körper von 981 Gramm Gewicht enthaltene Masse ist also diejenige, welcher die Krafteinheit 1 Gramm die Einheit der Beschleunigung 1 cm in der Sekunde ertheilt. Diese Masse ist die technische Masseneinheit. Es hat sich in der Praxis nicht das Bedürfniss herausgestellt, derselben einen besonderen Namen zu geben. Erwähnt mag noch werden, dass in der Technik gewöhnlich nicht mit Grammen und Centimetern gerechnet wird, wie wir es hier zur bequemen Vergleichung mit dem absoluten System angenommen haben, sondern dass man meistens mit Kilogrammen und Metern rechnet. Die Umrechnung ist leicht zu bewerkstelligen. —

Das absolute System.

Das obsolute Maasssystem geht davon aus, dass eine mit der Balkenwaage ausgeführte Wägung als eine Massenvergleichung zu betrachten ist, und dass daher das Wort Gramm richtiger zur Bezeichnung der Einheit der Masse dient. Diese Definition ist vollkommen unabhängig von dem Orte, an welchem man sich befindet. In diesem System muss also die Krafteinheit aus den beiden anderen Einheiten abgeleitet werden. Als Krafteinheit wird diejenige Kraft gewählt, welche der in 1 Gramm enthaltenen Masse die Beschleunigung 1 cm in der Sekunde ertheilt. Man bezeichnet die Krafteinheit im absoluten System mit dem Ausdruck Dyne (abgeleitet vom gr. ἡ δύναμις die Macht, Kraft).

Vergleichen wir nun das technische und das absolute System mit einander, so sehen wir, dass 1 Gramm Gewicht der Masse von 1 Gramm die Beschleunigung 981 cm ertheilt, während die Dyne derselben Masse nur die Beschleunigung 1 cm giebt. Es ist also 1 Gramm Gewicht gleich 981 Dynen. Dementsprechend ist die technische Masseneinheit in einem 981 Gramm wiegenden Körper enthalten, die absolute Masseneinheit aber in einem solchen, der 1 Gramm wiegt. Die technische Masseneinheit ist also gleich 981 Gramm Masse des absoluten Systems.

Da sowohl Krafteinheit als auch Masseneinheit im technischen System 981-mal grösser sind als im absoluten Systeme, so sind die auf denselben Fall sich beziehenden Maasszahlen des technischen Systems 981mal kleiner als im absoluten System. Hierdurch werden selbstverständlich die Resultate von Rechnungen ebenso wenig beeinflusst, als wenn man etwa den Preis einer Waare in Mark oder in Pfennigen angiebt. Das über die beiden Maass-Systeme Gesagte lässt sich tabellarisch und kurz in folgender Weise zusammenstellen:

Technisches Maass-System (Grundmaass: Gewicht)	Absolutes Maass-System (Grundmaass: Masse)
Krafteinheit: 1 Gramm Gewicht, d. i. das Gewicht eines Grammstückes unter 45° Breite (genauer unter der Breite von Paris) = 981 Dyn. des absoluten Systems.	Krafteinheit: (abgeleitet) 1 Dyn., d. i. das Gewicht von $^1/_{981}$ Gramm unter 45° Breite (genauer unter der Breite von Paris).
Masseneinheit: (abgeleitet) Masse von 981 Gramm.	Masseneinheit: 1 Gramm Masse, d. i. die Masse eines Grammstückes = $^1/_{981}$ der technischen Masseneinheit.

3. Spezifisches Gewicht und Dichte.

Man kommt oft in die Lage, Masse oder Gewicht eines Körpers angeben zu müssen, den man nicht direkt einer Wägung unterwerfen kann, dessen Volumen jedoch bekannt ist. Umgekehrt lässt sich durch eine Wägung das Volumen eines Körpers bestimmen. Zu diesem Zwecke ist es erforderlich, die Masse der Volumeneinheit des Stoffes zu kennen, aus welchem der Körper besteht. Hat beispielsweise ein Körper V Volumeneinheiten und ist die Masse der Volumeneinheit seines Stoffes d, so ist seine Masse $m = V \cdot d$ und sein Gewicht $P = m \cdot g = V \cdot d \cdot g$.

Nun ändert sich aber das Volumen eines Körpers mit Temperatur und Druck, während seine Masse davon unabhängig ist; die Masse der Volumeneinheit $d = \frac{m}{V}$ ist daher auch veränderlich mit jenen Grössen. Unter denselben Druck- und Temperaturverhältnissen ist sie für denselben Stoff stets ein und dieselbe, diesem Stoff eigenthümliche, man kann sie daher die spezifische Masse dieses Stoffes nennen. Statt dieses Ausdruckes ist ein anderer gebräuchlich geworden, der sich aus folgender Betrachtung ergiebt. Denkt man sich einerseits 1 Liter Luft unter gewöhnlichen Druck- und Temperaturverhältnissen, andererseits ein unter denselben Bedingungen gemessenes Volumen von 2 Liter Luft, welches nachher auf das Volumen von 1 Liter zusammengepresst wird, so müssen in dem zweiten Falle, in welchem die doppelte Luftmenge dasselbe Volumen besitzt wie im

Spezifische Masse.

ersten Falle, die einzelnen Lufttheilchen dichter gelagert sein. Es erweckt nun eine klare Vorstellung, wenn man sagt, dass im zweiten Falle die Dichte der Luft doppelt so gross ist als im ersten Falle. Mit der doppelten Menge ist aber auch die Masse die doppelte geworden, insbesondere auch die Masse der Volumeneinheit. So erklärt es sich, dass das, was soeben spezifische Masse genannt wurde, nämlich die Masse der Volumeneinheit, mit dem Namen Dichte bezeichnet wird. Dieser Ausdruck veranschaulicht die Abhängigkeit von dem veränderlichen Volumen auf das Deutlichste. In diesem Sinne leuchtet auch ohne Weiteres ein, was gemeint ist, wenn man sagt, das Wasser besitze seine grösste Dichte bei $+4^{0}$ C., Wasser von 20^{0}, Eis von 0^{0}, Dampf von 100^{0} seien weniger dicht, und dieses trotz der Veränderung des Aggregatzustandes. Weniger einfach gestaltet sich aber die Vorstellung, wenn Massen verschiedener Stoffe verglichen werden, etwa 1 Liter Wasser und 1 Liter Quecksilber, oder gleiche Volumina Luft und Wasserstoff. Wir dürfen hier nicht mehr, wie weiter oben bei der zusammengepressten Luft, nur an die Abstände der Theilchen denken und ohne Weiteres annehmen, dass die Quecksilbermolekeln dichter gelagert seien als die Wassermolekeln. Bei dem Vergleich von Luft und Wasserstoff folgt sogar aus dem Gesetze von Avogadro (zu vergl. Bd. I, p. 557), dass wegen der gleichen Anzahl von Molekeln auch ihre Abstände dieselben sind. Um das Wort Dichte auch für verschiedene Stoffe noch anzuwenden, muss man den Begriff weiter fassen, ebenso wie der Begriff Masse von der Bedeutung Stoffmenge zum allgemeinen Begriff Trägheitswiderstand ausgedehnt wurde. Wie beim Zusammendrücken der Luft mit der Stoffmenge auch der Trägheitswiderstand sich gleichsam verdichtet hat, so ist der in 1 Liter Quecksilber vorhandene Trägheitswiderstand 13,6 mal grösser als in ebensoviel Wasser, also, in übertragenem Sinne gesprochen, gewissermaassen dichter. —

Spezifische Masse identisch mit Dichte.

Statt von der Masse der Volumeneinheit auszugehen, giebt man auch oft das Gewicht der Volumeneinheit an und nennt dasselbe spezifisches Gewicht.

In der auf p. 119 aufgestellten Gleichung $P = V \cdot d \cdot g$ ist d die Masse der Volumeneinheit, $d \cdot g$ also ihr Gewicht. Bezeichnet man dieses mit s, so ist $s = d \cdot g$ und $P = V \cdot s$.

Aus $s = d \cdot g$ ersieht man, dass spezifisches Gewicht und Dichte proportionale Grössen sind.

Spez. Gewicht u. Dichte, proportionale Grössen.

Bezugnehmend auf früher Gesagtes ist noch zu bemerken, dass die Dichte d eines Körpers von der Veränderlichkeit der Schwer-

kraft unabhängig ist, während das spezifische Gewicht mit derselben sich verändert. Es muss daher, wie auch im Vorhergehenden geschehen, ein Mittelwerth für g angenommen werden; derselbe bezieht sich auf 45° Breite.

Aus den beiden Gleichungen $m = V . d$ und $P = V . s$ folgt $d = \frac{m}{V}$ und $s = \frac{P}{V}$. Man kann somit auch folgende, mit den bereits ausgesprochenen gleichbedeutende Definitionen aufstellen:

Die Dichte ist das Verhältniss der **Masse** zum Volumen, das spezifische Gewicht ist das Verhältniss des **Gewichtes** zum Volumen.

Denken wir uns, man hätte aus den verschiedenartigsten Stoffen Volumeneinheiten hergestellt, man wäge dieselben und vereinige die, gemäss den bisher gegebenen Definitionen erhaltenen Zahlen zu einer Tabelle der spezifischen Gewichte und Dichten. Es ist klar, dass die in einer solchen Tabelle aufgestellten Zahlen, je nach den Maasseinheiten für Volumen, Gewicht und Masse, verschieden ausfallen. Werden beispielsweise englische Pfund und Kubikzolle gewählt, so erhält man andere Zahlen, als wenn man Gramme und Kubikcentimeter zu Grunde legt. Ebenso müsste auch die, nach den gegebenen Definitionen aufgestellte Tabelle, je nach der Wahl eines der beiden in der Wissenschaft gebräuchlichen Maasssysteme, für welches sie gelten soll, verschieden ausfallen. Nach dem absoluten System erhielte man durch Wägung der einzelnen Volumeneinheiten (Kubikcentimeter) die Massen derselben in Grammen, und die sich ergebenden Zahlen würden die spezifischen Massen oder Dichten darstellen. Eine Tabelle der spezifischen Gewichte in diesem System würde 981 mal grössere Zahlen als die Tabelle der Dichten aufweisen, und diese Zahlen würden die spezifischen Gewichte in Dynen angeben.

Dichte u. spez. Gewicht im absoluten System.

Im technischen System, in welchem das Gramm Gewichtseinheit ist, würden die aus der Wägung sich ergebenden Zahlen eine Tabelle der spezifischen Gewichte bilden; eine Tabelle der Dichten in diesem System enthielte 981 mal kleinere Zahlen. In der Praxis giebt man einer anderen Auffassung der Begriffe Dichte und spezifisches Gewicht den Vorzug, einer Auffassung, die sich der experimentellen Bestimmung dieser Grössen besser anschliesst. Es würde nämlich nicht leicht sein, von den verschiedenartigsten Körpern, so wie wir es weiter oben annahmen, Volumeneinheiten herzustellen. Hingegen ist es, wie wir weiter unten sehen werden, leicht und bequem, gleiche Volumina zweier Körper, beispielsweise zweier

Dichte u. spez. Gewicht im technischen System.

Flüssigkeiten, oder eines festen und eines flüssigen Körpers sich zu verschaffen. Für einen der Körper würden dann die Beziehungen $m = V.d$ und $P = V.s$ gelten, für einen zweiten Körper von gleichem Volumen dieselben Beziehungen $m_1 = V.d_1$ und $P_1 = V.s_1$. Man hätte folglich $\frac{m}{m_1} = \frac{d}{d_1}$ und $\frac{P}{P_1} = \frac{s}{s_1}$. Ist dann die Dichte d_1 oder das spezifische Gewicht s_1 des zweiten Körpers bekannt, so würde es genügen, durch eine Wägung die Massen oder die Gewichte der beiden Körper zu bestimmen, um die gesuchte Dichte oder das gesuchte spezifische Gewicht des ersten Körpers leicht berechnen zu können.

Es liegt nun nahe, die verschiedenartigen Körper alle auf ein und denselben Vergleichskörper zu beziehen, den Werth der Verhältnisse $\frac{d}{d_1} = \delta$, $\frac{s}{s_1} = \sigma$ zu bestimmen und diese Werthe mit dem Ausdruck Dichte beziehungsweise spez. Gewicht zu bezeichnen. Aus der Beziehung $P = m.g$, $P_1 = m_1.g$ folgt $\frac{P}{P_1} = \frac{m}{m_1}$, also auch $\frac{s}{s_1} = \frac{d}{d_1}$ oder $\sigma = \delta$.

Nach dieser Auffassung werden also spezifische Gewichte und Dichten durch dieselben Zahlen dargestellt. Welchen Körper man als Vergleichskörper wählt, wäre an sich gleichgültig. Am besten eignet sich hierzu das Wasser im Zustande der grössten Dichte und zwar deswegen, weil die Volumeneinheit des Wassers schon die Einheit des Gewichtes beziehungsweise der Masse liefert.

In Worten definiren wir jetzt: Unter spezifischem Gewicht eines Körpers versteht man das Verhältniss seines Gewichtes zu dem Gewichte eines gleichen Volumens Wasser. Unter Dichte eines Körpers versteht man das Verhältniss seiner Masse zu der Masse des gleichen Volumens Wasser. Man hat also $\sigma = \frac{P}{P_1}$ und $\delta = \frac{m}{m_1}$, woraus folgt $P = \sigma.P_1$ und $m = \delta m_1$. Es lassen sich die Definitionen daher auch folgendermaassen aussprechen: Das spezifische Gewicht eines Körpers ist diejenige Zahl, welche angiebt, wie vielmal schwerer dieser Körper ist als das gleiche Volumen Wasser von $+4^0$ C. Die Dichte eines Körpers ist diejenige Zahl, welche angiebt, wie vielmal mehr Masse dieser Körper enthält als das gleiche Volumen Wasser von $+4^0$ C.

Statt zu sagen: Das spezifische Gewicht ist diejenige Zahl, welche angiebt, wie vielmal schwerer etc. kann man auch sagen: ist diejenige Zahl, mit welcher

man das Wassergewicht multipliziren muss, um das Gewicht des Körpers zu erhalten. Ist diese Zahl kleiner als 1, also ein echter Bruch, so wird natürlich das Gewicht des Körpers kleiner als das Gewicht des gleichen Volumen Wasser. So ist das spezifische Gewicht des Korkes 0,24; 1 ccm Wasser wiegt 1 Gramm, 1 ccm Kork nur 0,24 Gramm.

Die in der soeben gegebenen Weise definirten Begriffe kann man, weil von einem Vergleichskörper ausgegangen wurde, relatives spezifisches Gewicht und relative Dichte nennen, während die zuerst gegebenen Definitionen sich auf das absolute spezifische Gewicht und die absolute Dichte beziehen. Dadurch, dass man Wasser von $+4^0$ C. als Vergleichskörper wählt, stehen die relativen Zahlen σ und δ in einfachem Zusammenhange mit den Zahlen für die absoluten spezifischen Gewichte und Dichten.

Relatives spez. Gewicht und relative Dichte.

Absolutes spez. Gewicht u. absolute Dichte.

Nach dem technischen Maasssystem ist das Gewicht von 1 ccm Wasser 1 Gramm, das Gewicht P_1 von V ccm Wasser ist also V Gramme. In der Gleichung $\frac{P}{P_1} = \sigma = \frac{s}{s_1}$ hat man demnach zu setzen $s_1 = 1$, $P_1 = V$, also ist $\frac{s}{1} = \frac{P}{V}$ oder $s = \frac{P}{V}$.

Für das absolute Maasssystem erhält man geradeso: $\frac{m}{m_1} = \delta = \frac{d}{d_1}$. Hier ist das Gramm Masseneinheit, also $d_1 = 1$ und $m_1 = V$; also $\frac{d}{1} = \frac{m}{V}$ und $d = \frac{m}{V}$.

Die Zahlen für die relativen spezifischen Gewichte und die relativen Dichten sind also dieselben wie die der absoluten spezifischen Gewichte im **technischen** und die der absoluten Dichten im **absoluten** Maasssystem.

Aus dem Umstande, dass die relativen spezifischen Gewichte und relativen Dichten in jedem Maasssysteme durch dieselben Zahlen dargestellt werden, erklärt sich, dass die begrifflich verschiedenen Bezeichnungen vielfach durcheinander gebraucht werden. Es werden die in den gebräuchlichen Tabellen enthaltenen Zahlen, angewandt auf feste und flüssige Körper, meistens spezifische Gewichte genannt; auf Gase und Dämpfe angewandt, gebraucht man dagegen mit Vorliebe den Ausdruck Dichte.

Französische Lehrbücher, — unter anderen Violle: Cours de physique, Paris Masson 1892 — benutzen vielfach für alle drei Aggregatzustände die Bezeichnung Dichte (densité) und schreiben sogar: P = V. d.

Bei dieser Gelegenheit sei erwähnt, dass Delaunay „Traité de mécanique rationelle, Paris 1856 p. 262) den beachtenswerthen Vorschlag gemacht hat, an Stelle des Ausdruckes Dichte in absolutem Sinne die Bezeichnung spezifische Masse einzuführen, die Benennung spezifisches Gewicht im absoluten Sinne beizubehalten und das Wort Dichte nur für die im Vorhergehenden mit σ und δ bezeichneten relativen spezifischen Gewichte und

Charles Eugène Delaunay, geb. 9. April 1816 in Lusigny, Dép. Aube, Prof. an der Éc. polyt., Éc. d. mines, zuletzt Dir. der Pariser Sternwarte, gest. 5. August 1872 in Cherbourg.

Dichten anzuwenden. Hierdurch würde Verwirrungen, wie sie häufig vorkommen, vorgebeugt werden.

Es mag noch darauf hingewiesen werden, dass man statt der Buchstaben σ und δ auch wieder s und d gebraucht und es dem Leser zu erkennen überlässt, ob die Grössen in absolutem oder in relativem Sinne zu nehmen sind.

Erläuterungen zu den Begriffen spec. Gewicht und Dichte bei Gasen und Dämpfen.

Für Gase und Dämpfe sind in Bezug auf die Begriffe spezifisches Gewicht und Dichte noch einige besondere Bemerkungen zu machen. Obwohl auch hier die Definitionen im absoluten Sinne bestehen bleiben, werden die beiden Begriffe spezifisches Gewicht und Dichte in der Praxis doch fast durchweg in relativem Sinne gebraucht. Bei der Benutzung des Wassers von + 4° C. als Vergleichskörper ergeben sich sehr kleine Zahlenwerthe, so ist beispielsweise das spezifische Gewicht der Luft von 0° und 760 mm Druck auf Wasser bezogen 0,001293. Schon aus diesem Grunde rechtfertigt es sich, dass man die spezifischen Gewichte und Dichten der Gase und Dämpfe auf ein Normalgas bezieht. Als solches dient gewöhnlich atmosphärische Luft oder Wasserstoff von 0° und 760 mm Druck. Hierdurch wird zwar, wenn Gewicht oder Masse eines gegebenen Volumens eines Gases berechnet werden sollen, eine Umrechnung erforderlich, dieselbe erfordert jedoch nur die Kenntniss des spezifischen Gewichtes des Normalgases, bezogen auf Wasser von + 4° C. Ist beispielsweise das Gewicht von 1 Liter Kohlensäure (spez. Gew. bezogen auf Luft 1,529) zu bestimmen, so hat man nur zu überlegen, dass 1 ccm Luft von 0° und 760 mm Druck 0,001293 Gramm wiegt; 1 ccm Kohlensäure wiegt also 1,529 mal so viel, nämlich 0,001293 . 1,529 = 0,001977 Gramm und 1 Liter Kohlensäure wiegt demnach 1,977 Gramm. Die Zahl 0,001977 ist das spezifische Gewicht oder die Dichte der Kohlensäure von 0° und 760 mm Druck bezogen auf Wasser von + 4° C.

Die Wahl der Luft als Normalgas, ist, wie Ostwald (Lehrb. d. allg. Chem. 2. Aufl., Bd. 1, p. 163) betont, allerdings eine sehr unglückliche, weil die Zusammensetzung der Luft nicht unveränderlich ist und daher auch das Gewicht desselben Luftvolumens entsprechend verschieden ausfällt.

In Bezug auf die in Rede stehenden Begriffe ist für Gase und Dämpfe noch ein weiterer Umstand wohl zu berücksichtigen. Bei festen und flüssigen Körpern ist die Ausdehnung durch die Wärme eine verhältnissmässig geringe, ebenso ist ihre Zusammendrückbarkeit verschwindend klein. Spezifisches Gewicht und Dichte dieser Körper sind daher mit Temperatur- und Druckschwankungen nur wenig veränderlich. Eine Berücksichtigung dieser Veränderungen geschieht in Gestalt einer Korrektion. Das Volumen der Gase und Dämpfe aber

ist von Druck- und Temperaturverhältnissen in den weitesten Grenzen abhängig, die Berücksichtigung des Druckes und der Temperatur ist daher wesentlich.

Betrachten wir zunächst die eigentlichen Gase, welche den Gesetzen von Boyle-Mariotte und Charles-Dalton-Gay-Lussac folgen. Wenn man das spezifische Gewicht oder die Dichte eines solchen Gases für einen bestimmten Zustand, beispielsweise für 0° und 760 mm Druck kennt, so erhält man für andere Temperaturen und Drucke nach den genannten Gesetzen für das spezifische Gewicht:

$$s = s_0 \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t}.$$

In dieser Gleichung sei s_0 das auf Luft von 0° und 760 mm Druck bezogene relative spezifische Gewicht (also auch die relative Dichte) des betreffenden Gases; p, t und α sind, wie gewöhnlich, der Druck in Millimetern Quecksilber, die Temperatur in Celsiusgraden und der Ausdehnungskoëffizient 0,003665. Aus der Gleichung geht hervor, dass spezifisches Gewicht und Dichte eines Gases mit der Temperatur und dem Druck veränderliche Grössen sind, wenn man auf Luft von 0° und 760 mm Druck bezieht. Man kann aber auch den Vergleich in anderer Weise anstellen. Da das spezifische Gewicht der Luft, für welche die Gasgesetze Gültigkeit haben, für 0° und 760 mm Druck gleich 1 ist, so ist dasselbe für t° und p mm Druck:

$$s' = 1 \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t}.$$

Vergleicht man nun das betreffende Gas mit Luft von gleicher Temperatur und gleichem Druck, so hat man also:

$$\frac{s}{s'} = \frac{s_0}{1} = s_0.$$

Bezeichnen wir das Verhältniss $\frac{s}{s'}$ mit σ, so dass also $\sigma = s_0$ ist, dann kann man sagen: Während das auf Luft von 0° und 760 mm Druck bezogene spezifische Gewicht s eines Gases sich als eine **veränderliche** Grösse darstellt, ist das Verhältniss σ dieses spezifischen Gewichtes zu demjenigen der Luft von derselben Temperatur und demselben Druck eine konstante Grösse. Diese konstante Grösse bezeichnet man dem Gebrauche gemäss gewöhnlich mit dem Ausdruck Gasdichte. Da wegen der Beziehung $\frac{P}{P'} = \frac{Vs}{Vs'} = \frac{s}{s'}$ die spezifischen Gewichte sich wie die Gewichte

gleicher Volumina der beiden Gase verhalten, so kann man die Definition aufstellen:

Unter Gasdichte versteht man das Verhältniss des Gewichtes eines beliebigen Volumens des betrachteten Gases zu dem Gewicht eines gleichen Volumens Luft von derselben Temperatur und demselben Druck.

Die Bezeichnung $\sigma = s_0$ sagt aus, dass die Gasdichte bei beliebiger Temperatur und beliebigem Druck durch dieselbe Zahl dargestellt wird wie das spezifische Gewicht bei 0° und 760 mm Druck.

Alles, was bisher in Bezug auf das spezifische Gewicht und die Dichte von Gasen gesagt wurde, lässt sich ohne Weiteres auf Dämpfe übertragen, die von ihrem Sättigungspunkte hinreichend weit entfernt sind. Da solche Dämpfe bei 0° und 760 mm Druck meistens nicht existenzfähig sind, so wird nicht das auf 0° und 760 mm Druck bezogene spezifische Gewicht derselben angegeben, sondern ihre Dichte, hier Dampfdichte genannt, die in derselben Weise definirt wird wie die Gasdichte. Es sind dabei Temperatur und Druck, für welche die Dampfdichte gelten soll, besonders hinzuzufügen. Unterbleibt ein derartiger Zusatz, so wird vorausgesetzt, dass Temperatur und Druck solche Werthe haben, dass der Dampf von seinem Kondensationspunkte hinreichend weit entfernt ist, sich also wie ein Gas verhält. Nähert sich der Dampf seinem Kondensationspunkte, so bleibt die Dampfdichte nicht wie bei Gasen unveränderlich, da ein solcher Dampf ganz anderen Gesetzen folgt wie ein Gas. So ist beispielsweise die Dichte des Wasserdampfes, wenn derselbe überhitzt ist, stets 0,6, dagegen ist die Dichte des gesättigten Wasserdampfes je nach Druck und Temperatur desselben verschieden, und zwar nimmt sie mit der Erhöhung zu.

Die Dichte überhitzter Dämpfe weicht häufig in entgegengesetzter Weise ab, sie wird nämlich bei manchen Dämpfen mit steigender Temperatur kleiner. Der Grund für diese sogenannte abnorme Dampfdichte liegt in der Dissociation der Molekeln (zu vergl. Bd. I, p. 803).

Geschichtliches über die Wärmeausdehnung des Wassers.

Ueber die seltsame Eigenschaft des Wassers sich über und unter + 4° C. (genauer + 3,98° bezogen auf die Wasserstoffskala unter dem Drucke von 1 At. [K. Scheel]) auszudehnen sind zahlreiche Versuche angestellt worden. Der Grund dieser Erscheinung ist mit Sicherheit nicht bekannt. Die einzig mögliche Erklärung dafür erblickt H. M. Vernon in seiner Mittheilung: „On the maximum density of water" (Philos. Mag. (5) Vol. 31, 1891 p. 387) darin, dass bei der genannten Temperatur eine Veränderung in der Lagerung der Wassermolekeln zu einander

erfolgt. — Der Entdecker der grössten Dichtigkeit des Wassers und der Anomalie seiner Ausdehnung scheint Deluc (1772) gewesen zu sein. Er berichtet darüber in seinen auf p. 82 cit. „Recherches" etc. Die Temperatur, bei welcher das Dichtigkeitsmaximum liegt, bestimmte Deluc zu 41° F. Ferner gab er an, dass sich das Wasser von 41° bis zu 32° F. (dem Gefrierpunkt) ebenso stark ausdehne, als von 41° bis zu 50° F. Einige Beobachtungen über die merkwürdigen Ausdehnungsverhältnisse des Wassers sind wohl schon vor Deluc gemacht worden, man hielt dieselben jedoch nur für scheinbar und nahm als eigentliche Ursache der beobachteten Veränderungen eine Zusammenziehung und Ausdehnung der das Wasser einschliessenden Gefässe an. Die Methode, welche Deluc zur Messung der Ausdehnung des Wassers anwandte, bestand darin, dass er das Wasserniveau in einer am Ende kugelig erweiterten Thermometerröhre beobachtete. Dieselbe Methode hat Dalton (Gilb. Annalen Bd. 14, p. 294 und 20, p. 392) angewandt, während Blagden und Gilpin (Philos. Trans. 1790 p. 32; 1792 p. 428; 1794 p. 382) die Volumveränderungen durch Wägung bestimmten. Aräometrische Methoden wurden namentlich von Hällström angewandt. Eine Zusammenstellung der älteren Untersuchungen über die Anomalie der Ausdehnung des Wassers findet sich in der ersten der unten citirten Hällström'schen Arbeiten und in Dove's und Moser's Repertorium der Physik Bd. 1, p. 142 ff Berlin, Veit & Co. 1837.

George Gilpin.

George Gilpin soll (zu vergl. die Hinweise in Poggendorff's biogr.-lit. Handw.) Clerk bei der Roy. Soc. und Assistent auf der Greenwicher Sternwarte (1776—1781) gewesen sein; Nachforschungen in den Akten des Observatoriums haben, laut brieflicher Mittheilung der Direktion, diese Angabe nicht bestätigen können. Biographisches über Gilpin konnte bisher nicht ermittelt werden.

Bedeutung der Anomalie des Wassers für den Haushalt der Natur.

Für den Haushalt der Natur ist die Anomalie des Wassers in Betreff der Ausdehnung von grosser Wichtigkeit. Ohne sie würden Teiche und Seen und andere stehende Gewässer im Winter gänzlich ausfrieren, und die Existenz der darin lebenden Organismen würde auf das Schwerste bedroht werden. Wenn sich nämlich die oberflächlich gelegenen Wasserschichten abkühlen, so werden sie dichter und schwerer und sinken in Folge dessen zu Boden, während die tieferen wärmeren und leichteren Schichten emporsteigen. Auf diese Weise kühlt sich allmählich die ganze Menge auf + 4° ab. Wenn nun durch weitere Abkühlung das Wasser abermals dichter würde, so müsste auch jetzt wieder das an der Oberfläche abgekühlte und verdichtete Wasser zu Boden sinken. Das wärmere Wasser würde in die Höhe steigen, weiter abgekühlt wieder sinken, um an die Stelle des früher gesunkenen Wassers zu treten. Dadurch würde die Abkühlung allmählich alles Wasser auf 0° bringen und in Eis verwandeln. Diese Umstände aber können nicht eintreten, weil Wasser von + 4° das schwerste Wasser ist und Eis leichter ist als Wasser von 0°. Unter + 4° abgekühltes Wasser kann wegen seiner Leichtigkeit nicht sinken, und das schwerere Wasser von + 4° bleibt stets am Grunde. Das Eis bildet wegen seiner Leichtigkeit eine Decke, und die schlechte Leitungsfähigkeit des Eises und des Wassers schützen die tieferen Wasserschichten vor einer Erniedrigung der Temperatur. In fliessendem Wasser, in welchem Strömungen nach allen Richtungen stattfinden, kann an einzelnen Stellen die Gesammtmasse sich bis unter 0° abkühlen und, falls das Wasser keine Berührung mit festen Körpern hat, frei von Eis bleiben. Wenn aber die Strömung nach dem Boden gerichtet ist, so erfolgt durch Berührung mit diesem der Gefrierprozess und es bildet sich das sogenannte Grundeis, welches später emporsteigt und allerhand Körper vom Boden mit sich zur Oberfläche führt. Ueber die

Wärmevertheilung im Wasser vergleiche man noch A. Supan's Grundzüge der physikalischen Erdkunde. Leipzig. Veit & Co. 1896, p. 255 ff.

Literatur über die Dichtigkeit des Wassers:

P. Chappuis: Bestimmung der Ausdehnung des Wassers zwischen 0° und 40°. Ann. der Physik und Chem. 1897, Bd. 63 p. 202.

L. C. de Coppet: Sur la dilatation de l'eau. Bull. Soc. Vaud. des Sc. nat. 1892. (3) T. 27 p. 276.

Derselbe: Recherches sur la température du maximum de densité de l'eau. Ann. de chim. et de phys. 1894 (6) T. 2 p. 246.

C. Despretz: Untersuchungen über das Maximum der Dichtigkeit bei Flüssigkeiten. Annal. der Phys. und Chem. 1837, Bd. 41, p. 58 ff.

C. E. Guillaume: Ueber die spezifische Wärme des Wassers und die Gründe seiner Anomalie. Revue générale des sciences 1898, 9. p. 201 (Ref. Beibl. zu den Annal. der Phys. und Chem. 1898 No. 7 p. 478.)

Gust. Gabr. Hällström: Untersuchungen über die Volumensveränderungen, welche das Wasser durch die Wärme erleidet und Bestimmung der Temperatur, bei welcher dasselbe seine grösste Dichtigkeit besitzt. Ann. d. Phys. u. Chem. 1824 Bd. 1, p. 129 ff.

Derselbe: Ueber die Bestimmung der Temperatur, bei welcher das Wasser die grösste Dichtigkeit besitzt. Daselbst 1827, Bd. 9, p. 530 ff.

Derselbe: Prüfung der neuerlich gemachten Bestimmungen über die Volumsveränderungen des Wassers in verschiedener Wärme, und über die Wärme für die grösste Dichtigkeit des Wassers. Daselbst 1835, Bd. 34, p. 220 ff.

P. Joule u. Lyon Playfair: Ueber das Maximum der Dichte des Wassers. Annal. der Phys. u. Chem. 1847, Bd. 71, p. 574.

W. Kreitling: Die Ausdehnung des Wassers etc. Inaug.-Diss. Erlangen (Berlin: A. Hendebett.) 1892.

W. Marek: Ausdehnung des Wassers. Annalen der Phys. u. Chem. 1891, Bd. 44, p. 171.

C. Puschl: Zur Wärmeausdehnung des Wassers. Monatshefte für Chemie 1892, 13, p. 440.

K. Scheel: Die Ausdehnung des Wassers mit der Temperatur. Berliner Inaug.-Diss. vom 11. Oktober 1890.

Derselbe: Tafeln für die Ausdehnung des Wassers mit der Temperatur. Zeitschrift. f. Instrumk. 1897, Jahrg. 17, p. 331.

S. Stampfer: Versuche zur Bestimmung des absoluten Gewichtes des Wassers, der Temperatur seiner grössten Dichte und der Ausdehnung desselben. Annalen der Phys. u. Chem. 1831, Bd. 21, p. 75 ff.

M. Thiesen, K. Scheel, u. H. Diesselhorst: Ueber eine absolute Bestimmung der Ausdehnung des Wassers. Annal. der Phys. u. Chem. 1897, Bd. 60, p. 340.

Historisches über den Begriff des spezifischen Gewichtes.

Die Kenntniss des spezifischen Gewichtes reicht bis in das Alterthum zurück. Dem Aristoteles war dieser Begriff noch fremd, und Prantl macht in seiner Bearbeitung der vier Bücher des Aristoteles über das Himmelsgebäude in den Anmerkungen zum 4 Buche p. 333 besonders darauf aufmerksam. —

Aller Wahrscheinlichkeit nach ist Archimedes der Erste gewesen, der das spezifische Gewicht ermittelte. In seiner nur in arabischer Uebersetzung überlieferten Schrift, lateinisch: De insidentibus humido, ed. Heiberg Vol. II p. 355 sq. wird das sogenannte archimedische Prinzip, dass ein in eine Flüssigkeit eingetauchter fester Körper von seinem Gewichte so viel verliert, als das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmasse beträgt, wenn auch nicht klar ausgesprochen, so doch angedeutet. Damit ist auch die Kenntniss des spezifischen Gewichtes gegeben. Obgleich auch dieser Begriff von Archimedes nicht in Worte gefasst wird, so scheint es doch unanfechtbar, dass er die betrügerische Silberbeimengung in der goldenen Krone des Königs Hieron durch experimentelle Bestimmung des spezifischen Gewichtes erkannte. Eine genaue Erzählung dieser Geschichte, an welche sich das berühmte *εὕρηκα* knüpft, findet sich in Vitruvius' de architectura Lib. IX. 3 und bei Plutarch (Bd. VIII, p. 314 der „moralischen Abhandlungen", übersetzt von Kaltwasser). — Archimedes wurde im Jahre 287 v. Chr. in Syrakus auf Sicilien geboren. Seine tiefe Kenntniss der Mathematik und Mechanik machte ihn zu einem der berühmtesten Männer des Alterthums. Seine Hebel- und Flaschenzugkonstruktionen sollen ihn, wie Plutarch in seiner Biographie des Marcellus erzählt, zu dem bekannten Ausspruche: *Δός μοι ποῦ στῶ καὶ τὰν γᾶν κινασῶ* veranlasst haben. — Ueber die Todesursache des Archimedes ist mit Sicherheit nichts bekannt; Thatsache ist nur, dass er im Jahre 212 v. Chr. bei der Einnahme von Syrakus ums Leben kam. Zwei alte deutsche Uebersetzungen des Archimedes sind von Johann Christoph Sturm: Nürnberg 1670 und Ernst Nizze: Stralsund 1824. Ueber die Bestimmung des spezifischen Gewichtes mittels Senkwaagen ist der historische Abschnitt in Kap. 33 zu vergleichen.

Archimedes 287–212 v. Chr.

Johann Ernst Nizze wurde am 16. November 1788 in Ribnitz (Mecklenburg) geboren, war zuletzt Direktor des Gymnasiums in Stralsund und starb am 10. Februar 1872 in Stralsund.

J. E. Nizze 1788–1872.

Einunddreissigstes Kapitel.

Einiges aus der Lehre vom Gleichgewicht.

1. Massenmittelpunkt und Schwerpunkt.

In jeder beliebigen Gruppe von Massentheilchen giebt es einen bestimmten Punkt, dem die Eigenschaft zukommt, dass zu beiden Seiten jeder beliebigen durch ihn gelegten Ebene die Summe der Produkte der Massentheilchen und der Maasszahlen ihrer senkrechten Abstände die gleiche ist. Dieser Punkt heisst Massenmittelpunkt.

Denkt man sich einen homogenen Körper, d. h. einen solchen, der an allen Stellen aus gleichartigen Theilchen besteht, so kann man als Massenmittelpunkt auch denjenigen Punkt bezeichnen, dessen Abstand von jeder beliebigen Ebene gleich dem Mittel des Abstandes aller Punkte von derselben Ebene ist. In dem besonderen Falle, in welchem man die Masse in Beziehung zur Schwere bringt und es sich um einen im Vergleich zur Erde kleinen Körper handelt, konzentrirt sich gewissermaassen die Schwerkraft, mit anderen Worten: das ganze Gewicht des Körpers in dem Massenmittelpunkte, weil durch ihn die Resultirende der Zug- und Druckwirkungen geht, welche durch die Schwere aller einzelnen Massentheilchen hervorgebracht werden. Man nennt daher den Massenmittelpunkt in diesem Falle auch Schwerpunkt. Beide Punkte sind vollkommen identisch, da die Schwerkraft der Masse proportional ist.

Experimentelle Ermittelung des Schwerpunktes.

Die Mechanik giebt Regeln den genannten Punkt durch Rechnung zu bestimmen. Experimentell findet man ihn in jedem beliebigen Körper, wenn man folgeweise an zwei verschiedenen Punkten seiner Oberfläche einen Faden befestigt und den Körper daran aufhängt. Die Richtungslinien der Fäden heissen Schwerlinien; durch den Körper verlängert gedacht, schneiden sie sich im Innern desselben, und der Ort, wo dies geschieht, giebt die Lage des gesuchten Punktes.

Schwerlinie.

Die Schwerlinie ist die Verbindungslinie des Schwerpunktes eines Körpers mit dem Erdmittelpunkte. Sie verändert ihre absolute ·Lage im Raume nicht, wie man auch den Körper um seinen Schwerpunkt drehen und wenden mag. Wohl aber ändert sich die relative Lage der Schwerlinie zum Körper bei jeder Drehung desselben um seinen Schwerpunkt.

Weil Flüssigkeiten und Gase in jedem Augenblicke ihre Gestalt ändern, so kann bei ihnen von einem konstanten Schwerpunkte nicht die Rede sein.

Historisches über den Schwerpunkt.

Der Erste, welcher den Schwerpunkt von Körpern finden lehrte, war Pappus. Archimedes hatte nur die Schwerpunkte ebener Flächen bestimmt. Erhalten sind von den Schriften des Pappus nur acht Bücher mathematischer Sammlungen. Der Italiener Commandino, der selbst eine Schrift über den Schwerpunkt verfasste mit dem Titel: De centro gravitatis solidorum, Romae 1565 besorgte von Pappus' Werken eine lateinische Ausgabe betitelt: Pappi Alexandrini Collectionum mathematicarum Libri VI superstites Pisauri 1588. Eine neue Ausgabe stammt von Hultsch Berlin: Weidmann 1875—1878.

Eingehende Besprechungen über den Schwerpunkt finden sich bei Ubaldi (Mechanicorum libri VI, Pisauri 1577). Galilei (Op. Pirenze 1842—56 T. 13, p. 266) bezeichnet Ubaldi als „Grandissimo matematico“ und erwähnt, dass er durch dessen Schriften zu seinen Untersuchungen über den Schwerpunkt veran-

lasst worden sei. Den Prinzipien der Mechanik in streng analytischem Gepräge eine feste Form zu verleihen, war dem eminenten mathematischen Genie eines Lagrange vorbehalten. Das Werk, welches seinen Namen für alle Zeiten berühmt gemacht hat, war die, zuerst im Jahre 1788 erschienene Mécanique analytique. Das Werk besteht aus zwei Haupttheilen: Der Statik und der Dynamik; der dritte Abschnitt der Dynamik enthält die Lehre vom Schwerpunkt.

Pappus, der alexandrinischer Mathematiker war, lebte um das Jahr 290 n. Chr. zur Zeit des Kaisers Diokletian in Alexandrien.

Pappus um 290 n. Chr.

Frederigo Commandino wurde 1509 in Urbino geboren. Er war Arzt und Mathematiker des Marchese Ubaldi und starb am 3. September 1575 in Urbino.

F. Commandino 1509—1575.

Guido Ubaldi Marchese del Monte wurde 1545 zu Pesaro geboren. Er bekleidete das Amt eines General-Inspektors der toscanischen Festungen und starb 1607 als Privatmann auf einem seiner Güter in Toscana.

G. Ubaldi 1545—1607.

2. Arten des Gleichgewichtes.

Der Schwerpunkt steht in inniger Beziehung zu dem sogenannten Gleichgewichte eines Körpers. Von der Lage des Schwerpunktes hängt nämlich die grössere oder geringere Fähigkeit eines Körpers ab, äusseren Einflüssen, welche eine Drehung desselben zu bewirken streben, mit anderen Worten, ihn aus seiner Gleichgewichtslage herauszubringen suchen, Widerstand zu leisten. Die einzige Bedingung, welche erfüllt sein muss, damit ein Körper, auf welchen nur die Schwere einwirkt, sich im Gleichgewichte befinde, ist die, dass der Schwerpunkt unterstützt sei. Dies kann nun in verschiedener Weise geschehen. Die Unterstützung beschränkt sich nämlich entweder auf einen einzigen Punkt, oder aber sie besteht in einer Linie oder einer Fläche. Wenn nur ein Unterstützungspunkt in Betracht kommt, so muss derselbe, damit Gleichgewicht bestehe, entweder mit dem Schwerpunkte zusammenfallen, oder senkrecht über, oder senkrecht unter ihm liegen.

Wenn die beiden Punkte zusammenfallen, so geht die Richtung der Schwere bei jeder Lage des Körpers durch den Unterstützungspunkt, wobei ihre Wirkung durch den Widerstand, welchen derselbe darbietet, aufgehoben wird. Der Schwerpunkt wird daher weder steigen noch fallen, und der Körper befindet sich im indifferenten (l. indifferens [von in und differo] keinen Unterschied habend) Gleichgewicht.

Indifferentes Gleichgewicht.

Jedes an der Axe befestigte Rad, jede in ihrer Substanz gleichartig beschaffene Kugel mit festem Mittelpunkte bieten ein Beispiel dafür. Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Unterstützungspunkt senkrecht über dem Schwerpunkte liegt. Wenn nämlich der Körper in diesem Falle um den ersteren gedreht wird, so

beschreibt der letztere einen Bogen aufwärts. Sich selbst überlassen kehrt der Körper alsdann in seine frühere Lage zurück, in welcher er aber nicht verharrt, weil der Schwerpunkt bei der Rückkehr eine beschleunigte Bewegung macht. An der tiefsten Stelle angelangt, hat er gerade seine grösste Geschwindigkeit erreicht und bewegt sich nun nach dem Trägheitsgesetz (zu vergl. Bd. I, p. 112) in der entgegengesetzten Richtung aufwärts. Der Körper macht somit schwingende Bewegungen. Allmählich aber nehmen die Schwingungen, der Reibung und anderer Widerstände wegen, ab, und der Körper kehrt endlich wieder in die Gleichgewichtslage zurück, in welcher er sich vor der Drehung befand. Diese Gleichgewichtslage heisst stabiles (lat. stabilis [von sto] feststehend) Gleichgewicht. Beispiele dafür bieten das physische Pendel (zu vergl. Bd. I, p. 74), der Waagebalken (zu vergl. Kap. 32), und eine um den Unterstützungspunkt herum im Vergleich zu den übrigen Theilen schwerere Kugel auf einer horizontalen Ebene.

Stabiles Gleichgewicht.

Wenn der Unterstützungspunkt senkrecht unter dem Schwerpunkte liegt, so befindet sich der Körper im labilen (l. labilis hinfällig, schwankend, von labor ich sinke, falle) Gleichgewicht. Bei der geringsten Drehung beschreibt der Schwerpunkt einen Bogen abwärts. Der Körper kann also, sich selbst überlassen, nicht in seine frühere Lage zurückkehren, weil die Schwere ihn niederzieht. Er macht daher wieder Pendelbewegungen, um endlich in das stabile Gleichgewicht überzugehen. Beispiel: Eine um ihren höchsten Punkt herum im Vergleich zu ihren übrigen Raumgebieten schwerere Kugel auf horizontaler Ebene. — Eine Ausnahme von dieser allgemeinen Regel machen solche Körper, welche nach Art einer Kugelschale mit der gewölbten Fläche auf einer horizontalen Unterlage ruhen. Obgleich hier nur ein einziger Unterstützungspunkt senkrecht unter dem Schwerpunkt liegt, so besteht doch Stabilität, weil der letztere bei eintretender Bewegung steigt, und in Folge dessen der Körper stets wieder in seine frühere Lage zurückkehrt. Hierfür bieten die im chemischen Laboratorium gebräuchlichen Porzellanschalen und jede Wiege ein Beispiel. Will man andere, von unten unterstützte Körper mit Stabilität ausrüsten, so dass also bei einer etwaigen Bewegung ihr Schwerpunkt steigt, so muss die Unterstützung durch mindestens drei Punkte, die nicht in gerader Linie liegen, erfolgen, und das durch den Schwerpunkt gelegte Loth muss noch die Dreiecksfläche, welche durch diese drei Punkte bestimmt wird, treffen. Ebenso muss auch für jeden Körper, der mit einer Fläche auf seiner Unterlage stabil ruhen soll, das durch den Schwerpunkt gelegte Loth die unterstützte Fläche schneiden. — Im übrigen ist zu bemerken, dass die

Labiles Gleichgewicht.

Stabilität eines Körpers um so grösser ist, je grösser sein Gewicht, je breiter seine Basis und je tiefer sein Schwerpunkt gelegen ist.

In einzelnen Fällen sind bei einer und derselben Lage eines Körpers zwei oder sogar alle drei Gleichgewichtsarten gleichzeitig vorhanden. Eine auf ihrem kreisförmigen Rande stehende Münze ist für Drehungen in ihrer Ebene in indifferentem, für Drehungen senkrecht zu ihrer Ebene jedoch in labilem Gleichgewicht.

Eine auf einem Sattel ruhende Kugel ist, in Bezug auf die vordere und hintere Sattelwölbung, in stabilem, nach den beiden seitlichen Abhängen zu in labilem und endlich, in Bezug auf zwei diagonale Richtungen, in indifferentem Gleichgewicht.

Die Ausdrücke stabiles und labiles Gleichgewicht finden sich zuerst in der Mécanique analytique von Lagrange. Man vergleiche hierzu die Bemerkungen Seeber's in Gilbert's Annalen 1824, Bd. 76, p. 233 u. 234. Auf das Gleichgewicht, welches heute als indifferentes bezeichnet wird, scheint zuerst Fossombroni (Memoria sul principio delle velocità virtuali, Firenze 1796) das sogenannte virtuelle Prinzip von Lagrange angewandt zu haben.

Für historische Studien über die „Prinzipien der Mechanik" empfehlen wir E. Dühring's kritische Geschichte derselben 2. Aufl., Leipzig: Fues (O. R. Reisland) 1877.

L. A. Seeber 1793—1855.

Ludwig August Seeber wurde am 14. November 1793 in Karlsruhe geboren, er war Professor der Physik in Freiburg und Karlsruhe und starb am 9. Dezember 1855 in Karlsruhe.

V. Fossombroni 1754—1844.

Graf Vittorio Fossombroni wurde am 15. September 1754 in Arezzo geboren, er war General und Kriegsminister in Toscana und starb am 13. April 1844 in Florenz.

3. Schwerpunkt und Gleichgewicht in physiologischer Beziehung.

Schwerpunkt und Gleichgewicht in physiologischer Beziehung.

Die Lehre vom Schwerpunkt und Gleichgewicht ist eine der wichtigsten der Mechanik und spielt auch in der Physiologie des thierischen Organismus eine grosse Rolle.

Fische können durch verschiedenartige Luftfüllung ihrer Schwimmblase, Wasserinsekten durch Regulirung der Luft in den Tracheen (zu vergl. Bd. I, p. 723) die Lage ihres Schwerpunktes ändern und sich auf diese Weise möglichst günstige Verhältnisse für die Ortsbewegung verschaffen. Eine genaue Kenntniss der Lage des Schwerpunktes unseres Körpers und seiner einzelnen Glieder ist für das Verständniss der Statik und Mechanik des Menschen unerlässlich.

Da der menschliche Körper keine starre Masse bildet, sondern mit beweglichen Gliedern versehen ist, die ihre Lage zu einander fortwährend verändern und auch nicht starr im Sinne der Mechanik sind, da ferner in Bewegung befindliche Flüssigkeiten und Gase im Körper vorhanden sind, so kann der Schwerpunkt desselben keine

konstante Lage besitzen. A. Mosso (Archives italiennes de Biologie, 1884, T. 5, p. 131) hat mit Hülfe der Waage nachgewiesen, dass die Lage des Gesammtschwerpunktes des Menschen in Folge der Athmung und Blutströmung fortwährend wechselt.

Dieser Wechsel ist jedoch so unbedeutend, dass er für die meisten Fragen der Statik und Mechanik unberücksichtigt bleiben kann. Auch die Weichheit der Gewebe hat nur einen geringen Einfluss auf die Schwerpunktslage. Anders dagegen verhält es sich mit der veränderlichen Lage der Glieder. Die Gelenke (zu vergl. Bd. I, p. 127) bedingen eine so grosse Verschiebbarkeit der Glieder gegen einander, dass ihre Stellungsänderung die Lage des Gesammtschwerpunktes wesentlich beeinflussen muss. Bei gewöhnlicher Haltung des Körpers liegt der Schwerpunkt im Inneren desselben. Wir können unseren Körper aber so weit krümmen, dass der Gesammtschwerpunkt, ähnlich wie bei einem Gewölbebogen, ausserhalb zu liegen kommt. Eine Schwerpunktsbestimmung kann daher nur für eine bestimmte Haltung des Körpers Gültigkeit beanspruchen. Wegen der ungleichen Massenvertheilung in unserem Körper, je nach Alter, Geschlecht und Grösse, ist die Lage des Gesammtschwerpunktes des Menschen bis zu einem gewissen Grade individuell.

In allen Fällen, in welchen unser Körper auf irgend einer Seite belastet wird, erleidet der Schwerpunkt eine Verlagerung.

Um unter solchen Umständen das gestörte Gleichgewicht wiederherzustellen, machen wir einen ausgedehnten Gebrauch von der Fähigkeit unserer Muskeln den Körper zu steifen. Reicht die Muskelwirkung nicht aus, so bringen wir den Gesammtkörper, beziehungsweise Theile desselben in bestimmte Lagen. Wird beispielsweise eine Last bei herabhängendem Arm in der rechten Hand getragen, so neigen wir den Rumpf nach der entgegengesetzten Seite und strecken gleichzeitig den linken Arm mehr oder weniger horizontal nach links. Wirkt die Last vorne, so beugen wir uns zurück, ruht sie auf dem Rücken, so neigen wir uns vorwärts und benützen das eine, im Knie mehr oder weniger gebogene Bein als Stütze.

Die Geschicklichkeit, mit welcher Mensch und Thier ihren Körper im Gleichgewichte zu erhalten vermögen, hat Veranlassung gegeben, für diese Fähigkeit besondere Hülfsquellen in Betracht zu ziehen und die Einflüsse derselben experimentell zu untersuchen. Derartige Untersuchungen führten zur Annahme eines sechsten Sinnes, des statischen oder Gleichgewichtssinnes, durch welchen sich spezifische Empfindungen unter normalen Bedingungen nur bei plötzlichen, beziehungsweise längere Zeit fortgesetzten Bewegungen (Drehungen, Schaukeln etc.) bemerklich machen. Der verschleierte Zustand dieses Sinnes unter gewöhnlichen Verhältnissen erschien um so weniger auffallend, als auch in den Empfindungen

von Wärme, vom Kreislauf und von der Thätigkeit innerer Organe Meldung erst unter abnormen Bedingungen sich einstellen.

Nach Goltz und Anderen sollten die Bogengänge des Ohrlabyrinthes gewissermaassen das Sinnesorgan für das Gleichgewichtsgefühl sein und ihre Verletzung oder Reizung sollte Störungen des Gleichgewichtes herbeiführen, während bei intakten Bogengängen selbst das Abtragen gewisser Gehirntheile das Gleichgewicht nicht beeinträchtige. Thierversuche wurden in dieser Hinsicht von Goltz, J. R. Ewald und Anderen angestellt.

Man vergl. hierüber die Mittheilungen von P. Grützner in der deutschen medicin. Wochenschrift 1893, Nr. 6, von R. Wlassak im Centralbl. f. Physiol. 1892, Heft 66 und in der Vierteljahrsschrift f. wiss. Philosophie Bd. 16, 4, sowie Ewald's Vortrag auf dem Kongress für innere Medizin zu Berlin 1897. — Durch J. Loeb hat der statische Sinne, immer noch im Hinblick auf das innere Ohr, eine geotrope Umwandelung erhalten. Dieser Forscher versuchte als Ursache für die freien und willkürlichen Bewegungen den Geotropismus zu Grunde zu legen, liess aber die Frage nach dem Modus der Abhängigkeit unbeantwortet.

E. von Cyon's Untersuchungen über Bogengänge und Raumsinn (Archiv f. Anat. u. Physiologie, physiol. Abthlg. 1897), über die Funktionen des Ohrlabyrinthes (Archiv für die gesammte Physiol. Bd 71, p. 72 ff.) und über Ohrlabyrinth, Raumsinn und Orientirung (daselbst 1900, Bd. 79, p. 211 ff.) haben gezeigt, dass das Ohrlabyrinth lediglich zur Orientirung im Raume dient, und dass die geotrop-statische Hypothese unhaltbar ist. In der zuletzt genannten Arbeit (dort, sowie in den früheren Abhandlungen die einschlägige Literatur) werden namentlich Beobachtungen an japanischen Tanzmäusen verwerthet, die, obwohl sie nur ein normal entwickeltes Paar von Bogengängen besitzen, das Gleichgewicht vorzüglich zu bewahren wissen. „Der Versuch," sagt von Cyon (p. 272), „den statischen Sinn durch den Geotropismus zu retten, muss nach allen Richtungen hin als gescheitert betrachtet werden."

Historisches über die Ermittelung des Schwerpunktes im menschlichen Körper.

Borelli's Schwerpunktsbestimmungen.

Die ersten Schwerpunktsbestimmungen des menschlichen Körpers hat Borelli in seinem Werke: De motu animalium, Lugd. Batav. 1679, p. 167 veröffentlicht. Er führte die Bestimmung in der Weise aus, dass er einen menschlichen Körper C (Fig. 236) entkleidet auf ein Brett A B legte, und dieses der Länge nach auf der scharfen Kante eines dreiseitigen Balkens D E so lange verschob, bis er die Gleichgewichtslage für Brett und Körper gemeinschaftlich gefunden hatte. Der Schwerpunkt fiel bei dieser Bestimmung „inter nates et pubim". Mit grösserer Genauigkeit wie Borelli verfuhren die Gebrüder Ed. und W. Weber (zu vergl. d. in Bd. I auf p. 499 citirte Werk p. 116 und Wilh. Weber's Werke, herausg. von der Kgl. Gesellschaft der Wiss. zu Göttingen; Berlin, Springer 1894, Bd. 6, p. 79, § 48). Sie verschoben nicht das Brett mit dem Körper zugleich, sondern den letzteren allein, während das erstere vorher,

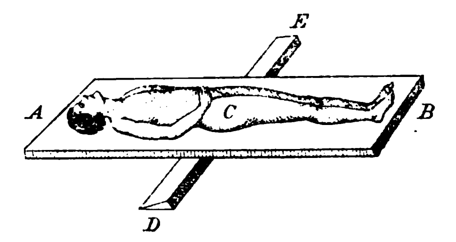


Fig. 236. Bestimmung des Schwerpunktes des menschlichen Körpers nach der Methode Borelli's.

Gebr. Weber's Schwerpunktsbestimmungen.

ehe der Körper darauf gelegt wurde, ins Gleichgewicht gebracht worden war. Die Messung wurde dadurch von dem Brette unabhängig. Für einen 1669,2 mm langen Mann fanden Gebrüder Weber den Abstand des Schwerpunktes vom Scheitel 721,5 mm, von der Ferse 947,7 mm; der senkrechte Abstand vom Promontorium — es ist dies die am weitesten vorspringende Gegend des Kreuzbeins — betrug 8,7 mm. Für Rumpf plus Kopf eines Kadavers, nach Abnahme beider Beine desselben, fanden die Gebrüder Weber den Schwerpunkt in der Höhe des Schwertfortsatzes des Brustbeins.

Schwerpunktsbestimmungen H. von Meyer's.

Sehr eingehend beschäftigte sich mit der Schwerpunktsbestimmung des menschlichen Körpers Hermann von Meyer, theils allein, theils in Gemeinschaft mit Fr. Horner. Die Untersuchungen finden sich in Müller's Archiv 1853, p. 9, 365, 497, 548; 1854, p. 478; ferner in von Meyer's Schriften: Die wechselnde Lage des Schwerpunktes in dem menschlichen Körper, und: Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes, Leipzig: Engelmann 1863 und 1873. Für die aufrechte Stellung fand H. von Meyer die Lage des Gesammtschwerpunktes im zweiten Kreuzbeinwirbel oder unmittelbar über demselben im Canalis sacralis.

G. H. v. Meyer 1815–1892.

Georg Hermann von Meyer wurde am 16. August 1815 in Frankfurt a. M. geboren. Er war Professor der Anatomie in Zürich und starb am 21. Juli 1892 in Frankfurt a. M.

Schwerpunktsbestimmungen von Harless.

Der Nächste, welcher sich mit Schwerpunktsbestimmungen des menschlichen Körpers beschäftigte, war Harless (Abhdlg. der Kgl. Bayr. Akad. d. Wiss. mathem.-physch. Kl. 1860, Bd. 8, p. 71). Das Hauptverdienst seiner Untersuchungen besteht darin, dass er, wie schon vor ihm von Meyer und Horner, die Lage des Schwerpunktes einzelner Körperabschnitte feststellte. — Emil H. Harless wurde am 11. Oktober 1820 in Nürnberg geboren. Er war Professor der Physiologie in München und starb am 16. Februar 1862 in München.

E. H. Harless 1820–1862.

Schwerpunktsbestimmungen von Braune und O. Fischer.

Die neuesten, umfassendsten und genauesten Untersuchungen über den Schwerpunkt des menschlichen Körpers machten W. Braune und O. Fischer (Abhdlg. der Kgl. sächs. Gesellschaft der Wiss. mathem.-physik. Kl. 1890, Bd. 15, p. 561, mit 17 Taf. und 18 Textfig.).

Sie führten dieselben theils an Kadavern, theils an Lebenden aus. Um bei der Bestimmung am Kadaver Fehler zu umgehen, welche durch die Weichheit der Leiche bedingt werden, wurde der Körper durch Gefrierenlassen in eine starre Masse verwandelt. Nach Abtrennung der einzelnen Glieder wurde auch der Schwerpunkt dieser bestimmt, wobei sich eine bemerkenswerthe Beziehung zu den Gelenkaxen ergab. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass der Schwerpunkt einzelner Gliedmaassenabschnitte über der Mitte derselben zu liegen kommt und die Entfernung der beiden Gelenkaxen, beziehungsweise Gelenkmittelpunkte von einander im Verhältniss von 4 : 5 theilt. Um möglichst schnell die „ungefähre Lage" des Schwerpunktes an irgend einem Extremitätenstück zu bestimmen, messe man die Entfernungen der Gelenkaxen und theile die gefundene Länge durch 9. Bei 4/9 der Länge unter der proximalen Gelenkaxe und zwar in einer Geraden, die durch die Mitten der Nachbargelenke bestimmt wird, liegt der gesuchte Schwerpunkt.

Die Bestimmung der Lage des Gesammtschwerpunktes am Lebenden geschah bei verschiedenen aufrechten Körperstellungen mit besonderer Berücksichtigung der Ausrüstung der deutschen Infanteristen. Bei der sogenannten Normalstellung und genau symmetrischer Haltung liegt der Gesammtschwerpunkt 4,7 cm senkrecht über der Verbindungslinie der Hüftgelenkmittelpunkte. Bei bequemer

Stellung und genau symmetrischer Haltung befindet sich der Gesammtschwerpunkt 7,3 cm über der genannten Verbindungslinie und überdies 0,8 cm nach hinten. Bei der militärischen Stellung, wie sie der Soldat vor dem Vorgesetzten einnimmt, liegt der Gesammtschwerpunkt in derselben Höhe wie in der Normalstellung, gleichzeitig aber um 0,4 cm nach vorne gerückt. Aus dieser Lage resultirt eine starke Muskelanstrengung, welche bei längerer Beibehaltung der Stellung zu grosser Ermüdung führt.

C. W. Braune 1831—1892.

Christian Wilhelm Braune wurde am 17. Juli 1831 in Leipzig geboren, war Prosektor und Professor der Anatomie daselbst und starb am 29. April 1892 in Leipzig.

4. Allgemeines über Hebel.

Beim Uebertragen von Energie auf verschiedene Punkte *a* und *b* (Fig, 237) eines Körpers in paralleler und gleicher Richtung *P* und *Q*, würde Fortbewegung ausgelöst werden, falls man dies nicht dadurch verhindert, dass man den Körper befestigt, wozu die Fixirung eines Punktes genügt. Geschah die Befestigung in der Mitte von *ab* in *c* und wird dann in der Richtung von *P* und *Q* ein gleich grosser Zug oder Druck (Kraft und Last) ausgeübt, so heben sich die Leistungen gegenseitig auf, indem sowohl *P* als auch *Q* den Körper *ab* mit gleicher Stärke um den Punkt *c* zu drehen bestrebt sind. Wenn aber die Leistungen in *a* und *b* ungleich sind, so erfolgt eine Drehbewegung in c und zwar auf der Seite der grösseren Beanspruchung.

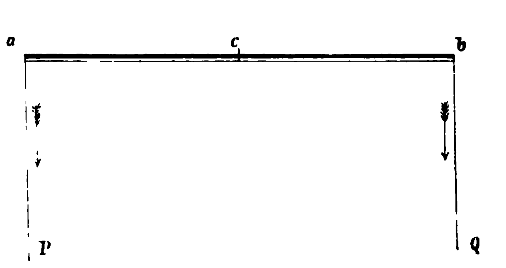


Fig. 237. *ab* zweiarmiger Hebel, *c* Stützpunkt, *P* und *Q* Angriff und Richtung von Kraft und Last.

Der Hebel und seine Arten.

Jede um einen festen Punkt: Stützpunkt oder Hypomochlion (vom gr. ὑπό unter und τὸ μοχλίον, dem. von ὁ μοχλός der Hebel) [Aristoteles: Edit. Becker, Berlin: Georg Reimer, Bd. 2, Mechanica, p. 850; 3 Z. 35; p. 854; 20 Z. 10, 21 Z. 23 u. 28; Problemata p. 879, 23 Z. 17] oder um eine gerade Linie (Axe) drehbare Vorrichtung wird Hebel genannt. Man unterscheidet den mathematischen und den physischen Hebel, ersterer besteht nur in der Idee, letzterer ist eine feste Stange. Der Ort, in welchem die Kräfte angreifen, heisst Angriffspunkt. Die Strecke zwischen jedem Angriffspunkt und dem Stützpunkt führt den Namen Hebelarm. Der Hebel ist zweiarmig, wenn der Stützpunkt zwischen den Angriffspunkten liegt, wenn aber letztere bei einem Hebel auf derselben Seite des Stütz-

punktes liegen, so nennt man ihn einarmig. Je nachdem die Hebelarme gerade oder gekrümmt sind, oder mit einander einen Winkel bilden, unterscheidet man geradlinige und krummlinige Hebel und Winkelhebel. Für alle Arten aber gilt ein schon von Archimedes in seiner Schrift: Vom Gleichgewichte der Ebenen oder von den Schwerpunkten derselben, (*Ἐπιπέδων ἰσοῤῥοπικῶν ἢ κέντρα βαρῶν ἐπιπέδων*) bewiesenes Gesetz: „Ungleiche Kräfte stehen am Hebel nur dann im Gleichgewichte, wenn sie den Hebelarmen, an denen sie angebracht werden, umgekehrt proportional sind.“ Man vergleiche hierzu die früher citirte Ausgabe von Nizze auf p. 3 und 4 und Jolly's Prinzipien der Mechanik, Stuttgart 1852, p. 26.

Statistisches Moment.

Seit J. Baptista Benedetti, welcher in dem in Bd. I, auf p. 115 genannten Werke der Mechanik ein eigenes Kapitel widmete, nennt man das die Drehungsbestrebung darstellende Produkt aus der Kraft und der Länge des vom Unterstützungspunkt (Drehpunkt) auf die Richtung der Kraft gefällten Lothes das statische Moment oder Drehungsmoment. Man kann daher das Hebel-Gesetz auch folgendermaassen ausdrücken: Am zweiarmigen Hebel ist Gleichgewicht vorhanden, wenn die statischen Momente gleich sind.

Verwendung des Hebels im täglichen Leben.

Zahlreiche im täglichen Leben gebräuchliche Werkzeuge beruhen auf dem Hebelprinzip. Jeder Schlüssel wirkt bei seiner Anwendung als Hebel. Der aus dem Schlosse hervorragende Theil dient als Hebelarm der Kraft. Das Moment dieser Kraft auf den Schlüsselbart, als Hebelarm der Last bezogen, giebt einen Druck, welcher die Schlossfeder zu öffnen erlaubt. Scheeren und Zangen, mit der Verniethung als Drehpunkt, bieten ebenfalls Beispiele für das Hebelprinzip. Der Zweck, dem derartige Werkzeuge dienen, wird um so leichter und vollkommener erreicht, je näher die Last dem Drehpunkte liegt und je weiter entfernt von demselben die Kraft angreift. Als Winkelhebel mag der Splitthammer genannt werden, wenn man sich dessen aus zwei Zinken bestehenden Abschnittes zum Ausziehen von Nägeln bedient. Bei genügender Länge des Hammergriffes hat es keine Schwierigkeit einen mehrere Centner grossen Zug auf die Stelle einwirken zu lassen, an welcher der Nagel Widerstand leistet. —

5. Hebel im Gliederbau des menschlichen Körpers.

Hebel im Gliederbau des menschlichen Körpers.

Im Gliederbau des menschlichen und thierischen Körpers finden Hebel bemerkenswerthe Verwendung. Die zur Bewegung derselben erforderliche Energie ist in den Muskeln aufgespeichert.

Exkurs über die Beschaffenheit der Muskulatur.

Hinsichtlich ihrer mikroskopischen Beschaffenheit unterscheidet man zwei Arten von Muskeln: glatte und (quer) gestreifte.

Die ersteren sind dem Willen entzogen, die letzteren können willkürlich in Thätigkeit versetzt werden. Nur diese kommen zur Bewegung der Hebelvorrichtungen des Skeletes in Betracht. —

Die Elemente der glatten Muskulatur (zu vergl. Bd. I, p. 202) sind spindelförmige langgestreckte, zu Fasern umgewandelte Zellen (kontraktile Faserzellen) Fig. 238 und 239. Sie bestehen aus homogenem, in einzelnen Fällen längsstreifigem (fibrillärem) Protoplasma, welches einen stäbchenförmigen Kern einschliesst. Bindegewebe vereinigt sie bündelartig (Fig. 239 *bg*). Jede glatte Muskelfaser wird an ihrer Oberfläche — wie zuerst de Bruyne (Compt. rend. Acad. des Sc. Paris 1891 T. 113. p. 865) nachwies — von einer zarten lamellenartigen Bindegewebs-

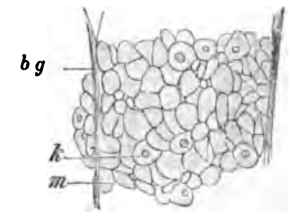


Fig. 239. Glatte Muskelfasern im Durchschnitt. Querschnitt durch die Ringmuskelschicht des menschlichen Darmes (Vergr. 560); *bg* bindegewebige Scheidewände zwischen einzelnen Bündeln von Muskelfasern, *m* lamellenartige Bindegewebshülle jeder Faser, *k* quergetroffene Kerne.



Fig. 238. Formen glatter Muskelfasern des Menschen, an der dicksten Stelle liegt der stäbchenförmige Kern.

schülle (Fig. 239 *m*) umgeben, so dass die kontraktile Substanz jeder Faser von der ihrer benachbarten Fasern völlig getrennt wird. Von einigen Beobachtern werden die Bindegewebshüllen für Kittsubstanz gehalten.

N. Kultschitzky (Biol. Centralbl. 1887/88, Bd. 7, p. 572 u. Sitzungsber. der Dorpater Natfges. 1891 p. 417), D. Barfurth (Archiv f. mikr. Anat. 1891, Bd. 38, p. 38 u. Anatom. Hefte 1897, p. 79) und mehrere andere Beobachter haben die Ansicht ausgesprochen, dass zwischen den einzelnen kontraktilen Faserzellen brückenartige, zackenförmige Plasmaverbindungen, sogenannte „Intercellularbrücken" vorhanden seien. Die vermeintlichen Gebilde, welche man gelegentlich auf Längs- und Querschnitten durch glatte Muskulatur wahrnimmt, sind jedoch Kunstprodukte. Es mag dies hierbesonders betont werden, weil einige Lehrbücher der Gewebelehre die Angaben Barfurth's und anderer, als dem thatsächlichen histologischen Verhalten entsprechend, aufgenommen haben. J. Schaffer hat in seiner Arbeit: „Zur Kenntniss der glatten Muskelzellen, insbesondere ihrer Verbindung" (Zeitschrift f. wiss. Zool. 1899, Bd. 66, 2, p. 214 ff. mit Taf. 14 und 15, (dort auch die einschlägige Literatur) den überzeugenden Nachweis erbracht, dass die „Intercellularbrücken" der Autoren

auf Schrumpfung der kontraktilen Faserzellen innerhalb ihrer Hüllen zurückzuführen sind, und dass wirkliche Plasmaverbindungen zwischen ihnen nicht vorkommen. — In einer brieflichen Mittheilung an mich vom 18. Februar 1900 bekennt sich auch Ph. Stöhr, Verfasser eines der bekanntesten neueren Lehrbücher der Histologie, zu dieser Ansicht.

Die willkürliche Skeletmuskulatur bildet mächtige Massen, welche die Form von cylindrischen Strängen oder breiten Platten besitzen. Diese Massen bestehen aus gröberen Bündeln (Fasciculi musculares), welche von Bindegewebe (Perimysium) umhüllt werden, das auch (als Endomysium) in das Innere dringt und viele kleinere Bündel umschliesst, welche aus zahlreichen Muskelfasern (Fibrae musculares) zusammengesetzt sind. Bei Anwendung gewisser Reagenzien (Chromsäure) lässt sich jede Muskelfaser in eine Anzahl parallel nebeneinander gelagerter, selten verzweigter (Herzmuskulatur), kontraktiler (protoplasmatischer) Fibrillen (Fig. 240 1, *a*), zerlegen. Die Vereinigung der Fibrillen übernimmt das sogenannte Sarkoplasma, in welchem man körnchenartige Einschlüsse und Kerne wahrnimmt. Jede Muskelfaser wird von einer strukturlosen Hülle (Sarkolemm; gr. ἡ σάρξ, σαρκός das Fleisch, τὸ λέμμα die Rinde, Hülle; Fig. 240 1 *b*; 2 *b* und *a*) umgeben, der die Bedeutung einer Zellmembran zukommt. An jeder Fibrille lässt sich eine dunkle und eine helle Schicht unterscheiden (Fig. 240, besonders in der Gegend von *b*). Die Substanz der ersteren heisst, weil sie das Licht doppelt bricht, anisotrop, die der letzteren heisst, weil sie das Licht einfach bricht, isotrop (Etymol. Bd. I, p. 620). Die Querstreifung ist der optische Ausdruck der beiden Schichten. Bei manchen Thieren spalten die Muskelfibrillen unter der Einwirkung von Reagenzien statt in Fibrillen in Querscheiben (Discs der englischen Histologen). Diese können in noch kleinere Theilchen (sarcous elements [Bowman], Fleischprismen [Kühne]) zerfallen. Ausser der isotropen und anisotropen Substanz sind noch andere histologische Einzelheiten in den Fibrillen wahrgenommen worden, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Man lese nach bei V. Hensen: Arbeiten aus dem Kieler physiol. Inst. 1868, p. 1 u. 174, und Th. W. Engelmann: Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. 7, p. 33. Nicht alle quergestreiften Muskelfasern besitzen dasselbe Aussehen. Je nach ihrem Gehalt an Sarkoplasma besitzen die Muskelfasern ein verschiedenes Aussehen, welches sich namentlich in einer mehr oder weniger deutlichen Querstreifung offenbart. Beim Menschen sind in jedem

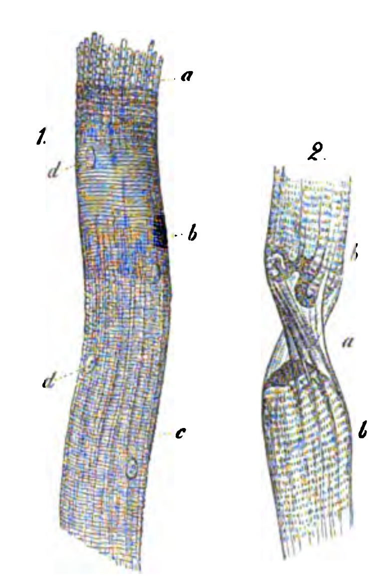


Fig. 240. Quergestreifte Muskulatur; in 1 Längsstreifung, in der Gegend von *b* und *c* am deutlichsten, und Zerspaltung in Primitivfibrillen *a*; der Contour bei *b* soll das Sarkolemm andeuten, *d* Kerne unter demselben; in dem Gebiete zwischen *b* und *d* sieht man die isotrope und anisotrope Substanz angedeutet. 2. Die Muskelfaser ist bei *a* zerrissen, wodurch sich das Sarkolemm deutlich macht.

Muskel Fasern mit reichlichem und geringem Sarkoplasmagehalt gemischt, bei gewissen Thieren, beispielsweise beim Kaninchen, sind sie auf verschiedene Muskeln vertheilt.

Die Arbeitsfähigkeit eines Muskels beruht auf seiner Kontraktilität. Während der Arbeitsleistung verliert ein Muskel mehr oder weniger von seiner Energie. Der Verlust wird durch zweckmässige Ernährung ersetzt. Durch den Gebrauch werden die Muskeln stärker und für fernere Arbeitsleistungen ausdauernder. Die Kontraktion eines Muskels erfolgt in der Richtung seines Faserverlaufes. Während der Kontraktion tritt eine Verkürzung bis auf 50 bis 60% der ursprünglichen Länge des Muskels ein. Mit der Verkürzung ist eine Dickenzunahme verbunden, worüber schon im Alterthum Erasistratos Beobachtungen anstellte. Bei der Verkürzung verkleinert der Muskel sein Volumen (Swammerdam).

Ein Muskel kann eine um so grössere Last heben, je mehr kontraktile Elemente sein Querschnitt zeigt, die Last kann um so höher gehoben werden, je länger der Muskel ist. — Die Muskeln, welche zur Bewegung der Knochenhebel des Skeletes dienen, sind mit diesen nicht unmittelbar, sondern durch Vermittelung sogenannter Sehnen verbunden, deren Ansatzstellen häufig nicht unbeträchtlich vom Muskelende entfernt liegen. Die Sehnen bestehen aus Bindegewebe (zu vgl. Bd. I, p. 201). Es fehlt ihnen zwar die Eigenschaft der Kontraktilität, sie enthalten aber elastische Fasern. Die durch die Muskelkontraktion erzeugte Spannung der Sehnen pflanzt sich durch sie fort, etwa wie der Zug eines Gewichtes durch Fäden und Seile. Das Gewebe der Sehne ist mit dem des Muskels innig verbunden. Oftmals dringt die Sehne tief in das Muskelfleisch hinein. Einige Muskeln sind an ihrem Ursprunge mit mehreren Sehnen versehen. Man spricht dann von mehrköpfigen Muskeln (M. biceps, triceps etc.).

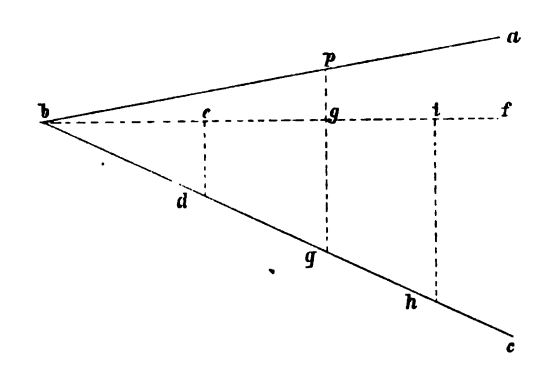


Fig. 241. Schema zur Erklärung der Muskelwirkung an den knöchernen Hebeln.

Das Wort: Muskel (lat. musculus, gr. ὁ μῦς) bedeutet ursprünglich Maus. In der That ist ein spindelförmiger Muskel im Zusammenhange mit seiner Sehne dem Rumpfe und Schweife einer Maus nicht unähnlich. Der altdeutsche Name für Muskel ist Mäuslein, und die Muskeln des Daumenballens werden noch heute als Handmaus bezeichnet. Die Anatomen des 14. und 15. Jahrhunderts gebrauchten statt Musculus häufig das Wort Lacertus, welches auch bei den Römern (Ovid, Lucrez) mit musculus promiscue, insbesondere aber für die Muskeln des Oberarms gebraucht wurde. Schylhans sagt in seinem „Feldbuch der Wundarzney" Strassburg 1517: „Musculus und Lacertus ist ein Ding, aber Musculus würt genennt nach der Form einer Mausz, Lacertus nach der Formen einer Haydechsz, dann gleichwie die thyerlein seind an beiden enden klein (dünn), und lang gegen dem Schwantz, und indermitten dick, also seind auch diese müszlin und lacerti." —

Etymologie des Wortes Muskel.

Hans von Gersdorf, genannt Schylhans, Chirurg, lebte am Ende des 15. und zu Anfang des 16. Jahrh. Näheres über sein Leben scheint nicht bekannt.

Wirkung der Muskeln an den knöchernen Hebeln.

Betrachten wir jetzt die Wirkung der Muskeln an den knöchernen Hebeln. Es seien *ab* und *cb* (Fig. 241) zwei feste, bei *b* durch ein Gelenk verbundene Stäbe. Zwischen beliebig gewählten Punkten dieser Stäbe, beispielsweise *p* und *q*, befinde sich eine kontraktile Substanz. Sobald sich diese zusammenzieht wird der Winkel *abc* sich verkleinern. Eine Last, welche — etwa nach Art eines Gewichtes — der hierzu erforderlichen Bewegung entgegensteht, kann mit in die Bewegung hineingezogen werden. Die kontraktile Substanz leistet dann Arbeit, die durch die Strecke, um welche sich die kontraktile Substanz verkürzt, multiplizirt mit der ausgeübten Kraft gemessen wird. Es sei K die Kraft, L die zu überwindende Last. Die Grösse von L in ihrer Abhängigkeit von K ergiebt sich dann nach dem Hebelgesetze. Fällt die Bewegungsrichtung der Last in die Richtung *pq* der Kraft, und greift L in *q* an, so ist am Anfange der Bewegung L=K.

Befindet sich der Angriffspunkt der Last in *d*, also näher dem Gelenke und erstreckt sich ihre Wirkung in der Richtung *ed*, parallel *pq* und lothrecht auf *bf*, so ist, wieder anfangs, $L = \frac{K \cdot bg}{be}$, also grösser als K. Liegt der Angriffspunkt der Last bei *h*, also entfernter vom Gelenke und wirkt sie in der ebenfalls zu *pq* parallelen Richtung *ih*, so ist anfangs $L = \frac{K \cdot bg}{bi}$ also kleiner als K.

Ganz allgemein ist das statische Moment K . bg gleich dem Momente L . x des Widerstandes, der noch überwunden werden kann, gleichgültig in welcher Richtung derselbe auch wirken mag. Hierbei ist noch zu beachten, dass x den Hebelarm der Last, das heisst den lothrechten Abstand des Drehpunktes b von der Richtung der Last bedeutet. Die Wege von Kraft und Last, je in ihren Richtungen, verhalten sich wie bei allen Hebeln direkt wie die Hebelarme, vorausgesetzt, dass die Kraftrichtung und die Lastrichtung, jede für sich betrachtet, mit dem sich drehenden Hebelarm beständig denselben Winkel bildet. Es kommt die von einer kontraktilen Substanz ausgeübte Arbeit zur vollständigen Verwerthung, sei es bei kurzem Wege durch eine grössere Kraft, sei es, wenn letztere gering ist, durch verhältnissmässige Vergrösserung des Weges.

Borelli war der Erste, welcher in seinem Werke: De motu animalium für die Mechanik der Gelenke die Gültigkeit des Hebelgesetzes nachwies.

Das menschliche Gebiss ist einer Zange zu vergleichen. Unter-

und Oberkiefer bilden die beiden Arme der Zange. Der Unterkiefer ist in einem Gelenke als Drehpunkt gegen den Oberkiefer beweglich.

Mechanik der Gelenke.

Die Bewegung wird durch Muskeln bewerkstelligt, welche zu beiden Seiten des Unterkiefers angreifen. Jedes Muskelbündel für sich betrachtet übt, so oft es in Thätigkeit versetzt wird, einen seiner Kontraktilität entsprechenden Druck des Unterkiefers gegen den Oberkiefer aus. Dieser Druck gewinnt, je nach der Lage eines zwischen den Kiefern gehaltenen Gegenstandes, also je nach dem Verhältnisse der Hebelarme von Kraft und Last, eine verschiedene Stärke. Der aus der Wirkung aller Muskelbündel sich ergebende Gesammtdruck ist um so grösser, je näher das zwischen den Kiefern befindliche Objekt dem Gelenke liegt. Zwischen den hintersten Backenzähnen lässt

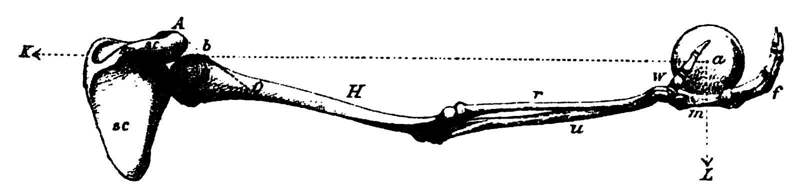


Fig. 242. Hebelprinzip am horizontal gestreckten rechten Arm unter der Wirkung des Deltamuskels, welcher sich aus drei Abschnitten zusammensetzt und in der Figur schematisch durch das punktirte Dreieck dargestellt ist. Seine Portio clavicularis entspringt an dem Schulterende des Schlüsselbeines, seine Portio acromialis entspringt an der Schulterhöhe, seine Portio scapularis entspringt an der Schulterblattgräte; alle drei Abschnitte inseriren sich gemeinsam mit einer Sehne an der äusseren Fläche des Oberarmbeines. — *sc* Schulterblatt (Scapula), hintere Fläche; *Sp sc* Schulterblattgräte (Spina scapulae); *A* Schulterhöhe (Acromion); *O* Oberarmbein (Humerus), *r* Speiche (Radius), *u* Elle (Ulna), *w* Handwurzelknochen, *m* Mittelhandknochen, *f* Fingerknochen, *K* Wirkungsrichtung der Kraft, *L* Wirkungsrichtung der Last.

sich daher die grösste Gewalt ausüben. Weiter nach vorne vermindert sie sich. Die Vorderzähne sind also zum Zermalmen wenig geeignet, sie dienen vielmehr wie Messer und Meissel zum Zerschneiden.

Die grosse Beweglichkeit des menschlichen Armes, der an der Schulter ein sogenanntes freies Gelenk (Kugelgelenk) und am Ellenbogen der Hauptsache nach ein Winkelgelenk besitzt, wird durch stark entwickelte Muskeln vermittelt. Dieselben spannen sich theils zwischen Schulter und Oberarm beziehungsweise Unterarm, theils zwischen Ober- und Unterarm aus. — Bei horizontal ausgestrecktem Arme lässt sich keine grosse Last tragen oder bewegen. Der Grund hierfür ist aus Fig. 242 zu erkennen.

Der Arm bildet in horizontaler Lage einen Winkelhebel, dessen Drehpunkt *s* sich im Schultergelenk befindet und an dessen langem

Hebelarm $H = ab$ die Last L wirkt, während für die Kraft (Muskelspannung) K nur der kurze Hebelarm $h = sb$ verfügbar ist. Die Längen beider Hebelarme verhalten sich ungefähr wie 20:1.

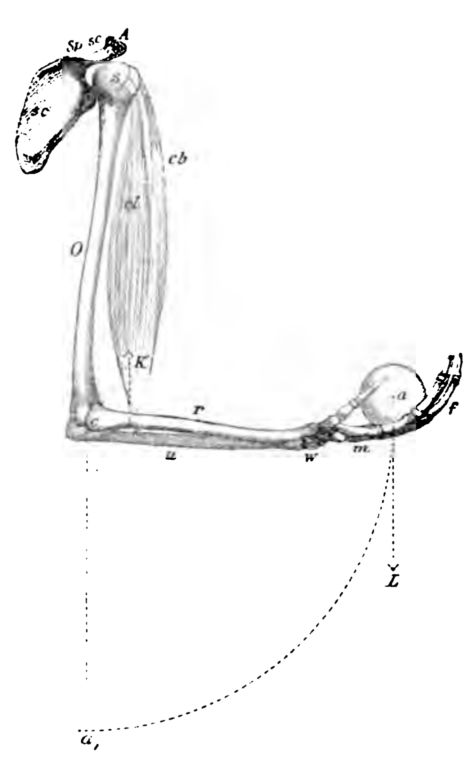


Fig. 243. Hebelprinzip am rechten Arm unter der Wirkung des Musculus biceps, welcher mit zwei Köpfen: dem Caput breve *cb* und dem Caput longum *cl* versehen ist, ersteres hat seinen Ursprung an dem sogenannten, in der Figur nicht sichtbaren Rabenschnabelfortsatz (Processus coracoideus), letzteres entspringt mit einer langen Sehne vom oberen Rande der Gelenkfläche des Schulterblattes. Die Insertion des ganzen Muskels findet sich an einer rauhen Stelle des Radius. Hinsichtlich der Bezeichnungen vergl. man Fig. 242 und den Text.

Um also eine Last von 10 kg bei horizontal ausgestrecktem Arm in der Hand halten zu können, ist, abgesehen von dem Eigengewicht des Armes, eine Muskelspannung, insbesondere des Deltamuskels (M. deltoideus) von 200 kg erforderlich. — Günstige Bedingungen bietet der ausgestreckte Arm, um die verhältnissmässig kurze Wegstrecke, die durch Kontraktion des zweiköpfigen Beugemuskels (M. biceps) unmittelbar zurückgelegt werden kann, in eine viel grössere, im angenommenen Falle zwanzigmal grössere Weglänge zu verwandeln und auch durch diese eine mässige Last zu führen. Lässt man den Arm an der Seite des Körpers frei herabhängen, so ist ein mit der Hand erfasstes Gewicht unmittelbar gestützt, da die Richtung seiner Schwere in den Stützpunkt, nämlich in den Punkt s des Schultergelenkes fällt. Wird nun der Unterarm durch Drehung um das Ellenbogengelenk in die in Fig. 243 gezeichnete Lage gebracht, so erhält die um die Höhe $a_1 c$ gehobene Last L das statische Moment $L \cdot ac$, welchem die Muskelspannung K durch das Moment $K \cdot kc$ das Gleichgewicht zu halten hat.

Es ist also $L = K \frac{kc}{ac}$.

Das Verhältniss $\frac{kc}{ac}$ ist ungefähr gleich $\frac{1}{10}$. Wir vermögen daher, bei gleicher Anstrengung wie vorher bei horizontal gestrecktem Arme, jetzt die doppelte Last zu halten, allerdings mit Einbusse an Beweglichkeit. Es ist noch darauf hinzuweisen, dass die Last, während sie den Bogen $a_1 a$ beschreibt, anfangs das Moment Null hat, dass aber der Hebelarm nach Maassgabe des Sinus des beschriebenen Bogens allmählich grösser wird und nach dem Hub bis auf 90° seinen grössten Werth erreicht.

Am günstigsten liegen die Verhältnisse für das Heben und Tragen einer Last dann, wenn wir die hierzu erforderliche Anstrengung auf die Muskeln des Oberarmes und der Schulter vertheilen, in der Art, dass wir den im Ellenbogengelenk gebogenen Arm nach hinten und aufwärts führen. Die gegebenen Beispiele mögen jedoch hier genügen, um die Gültigkeit des Hebelgesetzes im menschlichen Gliederbau darzuthun.

Mechanik des Stehens, Sitzens und der Ortsbewegungen.

Sehr verwickelt gestaltet sich die Wirkung der Muskeln an den knöchernen Hebeln beim Stehen und Sitzen in verschiedenen Haltungen, beim Gehen, Laufen, Springen und bei den künstlich eingeübten Bewegungen des Schwimmens, Tanzens, Schlittschuhlaufens etc. — Beim Stehen müssen Muskeln in Thätigkeit versetzt werden, um durch Feststellung aller in Betracht kommenden Knochenverbindungen den Körper in eine starre Säule zu verwandeln und diese im Gleichgewicht zu halten. — Beim Sitzen ruht der Körper auf den sogenannten Sitzhöckern (Tubera ischii) in der Art, dass er sich hin- und herwiegen kann. Man unterscheidet eine vordere und hintere Sitzlage. In der ersteren liegt die Schwerlinie vor, in der letzteren hinter der Verbindungslinie beider Sitzhöcker. Zur Erhaltung des Gleichgewichtes müssen der Oberkörper oder die Beine einen weiteren Unterstützungspunkt gewinnen. — Beim Gehen wird die Gesammtlast des Körpers von dem einen oder dem anderen Beine getragen. Das beanspruchte Bein wird das aktive, das unbeanspruchte das passive genannt. Man kann zwei Akte beim Gehen unterscheiden. Im ersten Akt steht das aktive Bein, im Knie schwach gebeugt, mit der Fusssohle auf dem Boden. Man sagt, das Bein befinde sich in Kathetenstellung. Zu derselben Zeit ist das passive Bein, in sogenannter Hypotenusenstellung, gerade und nach hinten gestreckt und berührt den Boden nur mit der grossen Zehe. Im zweiten Akt streckt sich das aktive Bein im Knie, und der Fuss wird allmählich bis auf die Zehenspitze vom Boden abgehoben. Unter Vorschiebung des Körpers erhält das bisher aktive Bein alsdann die Hypotenusenstellung des passiven Beines. Das bisher passive Bein wird im zweiten Akte vom Boden abgehoben, macht, unter schwacher Beugung, um seinen Aufhängepunkt im Becken eine Pendelschwingung nach vorne und übernimmt nun die Rolle des aktiven Beines. Während des Gehens wird der Schwerpunkt des Körpers abwechselnd auf das aktive Bein verlegt und zwar unter der Wirkung der Gesässmuskeln (Mm. glutaei [gr. ὁ γλουτός der Hinterbacken]), des Spanners der Schenkelbinde (M. tensor fasciae latae), welche an den vorderen Rand des Glutaeus grenzt, und der Bauchmuskeln. Das Laufen unterscheidet sich

vom Gehen dadurch, dass für einen Augenblick beide Beine vom Boden entfernt werden, weil dem Körper durch das aktive Bein ein Schwung gegeben wird.

Beim Sprung erfolgt eine schnellende Streckung eines oder beider Beine nach starker Beugung, wobei der Körper in die Höhe, beziehungsweise eine Strecke weit nach vorne geworfen wird.

Beim Schwimmen wird durch geeignete Bewegungen und in bestimmtem Rhythmus ein Flächendruck gegen das Wasser ausgeübt, wodurch das Sinken verhindert wird. —

Untersuchungen von O. Fischer.

Die in Gemeinschaft mit Braune begonnenen Untersuchungen über die mechanischen Prinzipien des menschlichen Körpers hat Otto Fischer nach dem Tode Braune's fortgesetzt und eine Reihe wichtiger Arbeiten auf diesem Gebiete veröffentlicht. Er hat dadurch der Physiologie, welche die verwickelten statischen und mechanischen Probleme bisher vernachlässigte oder dieselben durch vereinfachte Annahmen umging, eine empfindliche Lücke ihres Arbeitsfeldes gezeigt und diese Lücke bereits zum Theil ausgefüllt. Hier kann natürlich auf die betreffenden Untersuchungen nur hingewiesen werden. Sie heissen „Beiträge zur Muskelstatik und zu einer Muskeldynamik", ferner: „Ueber Grundlagen und Ziele der Muskelmechanik". Die beiden ersteren Arbeiten fanden sich in den Abhandlg. der mathem.-physik. Kl. der Kgl. Sächs. Ges. der Wiss. 1896 und 1897, Bd. 23, p. 271 ff und p. 473 ff., die letztere findet sich im Archiv f. Anatomie und Physiologie 1896, Anat. Abthlg. p. 363. In Band 25 Nr. 1 der genannten Abhandlungen vom Jahre 1899 erschien: Die Bewegungen des Gesammtschwerpunktes und die äusseren Kräfte.

A. Fick (Archiv für die gesammte Physiologie 1899, Bd. 75, p. 341) hat sich mit der Mechanik des Zehenstandes beschäftigt unter Beihülfe eines Modells aus Holzleisten mit eingeschaltetem Froschmuskel, der durch elektrische Reizung in Kontraktion versetzt wurde. Fick vertritt die Ansicht, dass es möglich sei, die Ferse vom Boden zu erheben, wenn das Loth durch den Schwerpunkt des Körpers hinter die Axe der Metatarsusköpfchen fällt. — Im Bezug auf die Mechanik vom Stehen und Gehen sei noch auf R. du Bois-Reymond's Beitrag zur Lehre vom Stehen (Verhdlg. der physiol. Gesellschaft zu Berlin 1897, 9) und auf dessen Vortrag: Die Photographie in ihrer Beziehung zur Lehre vom Stehen und Gehen (Verhdlg. der Gesellschaft deutscher Naturf. und Aerzte; 69. Vers. zu Braunschweig Thl. I, p. 167; Leipzig, F. C. W. Vogel 1898) hingewiesen.

Zweiunddreissigstes Kapitel.

Messung der Masse.

Eine wichtige Anwendung findet der zweiarmige Hebel bei der Herstellung der Waage. Sie ist eines der unentbehrlichsten Instrumente des Naturforschers, insbesondere des Chemikers und Physikers. Die

Waage dient unmittelbar zur Messung von Kräften, welche an einem mit dem Namen Waagebalken bezeichneten Hebel angreifen. Diese Kräfte gehen bei dem gewöhnlichen Gebrauch der Waage von der Schwere aus. Da diesen Kräften oder den Gewichten der materiellen Körper deren Massen für einen gegebenen Ort streng proportional sind, so ist die Waage das genaueste Instrument zur Bestimmung der Masse.

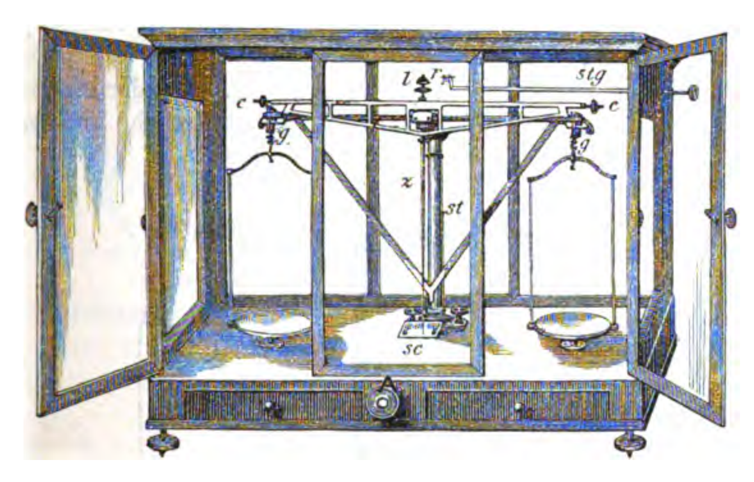


Fig. 244. Aelteres Modell einer Analysenwaage mit Stahlaxen auf Achat spielend, mit Balken-, Schalen- und Gehänge-Arretirung. Gehänge und Balken vergoldet, Schalen platinirt. *st* Stativ, *l* Laufgewichte zur Verlagerung des Schwerpunktes, *c* Hunter'sche Korrektionsschraube, *g* Gehänge, *A* Arretirungsvorrichtung, *sc* Skala, *z* Zunge, *r* Reitergewicht.

Ausser dieser Anwendung der Waage giebt es noch eine andere, bei welcher die Schwere zur Kompensirung elektrischer, magnetischer etc. Kräfte dient. Diese Anwendung ist jedoch eine beschränkte.

Je nach der Art des der Bauart der Waage zu Grunde liegenden Hebels unterscheidet man ungleicharmige und gleicharmige Waagen. Wenn mehrere Hebel an der Einrichtung betheiligt sind, so nennt man die Waage zusammengesetzt. Zu den ungleicharmigen Waagen gehören die sogenannten Schnell- und Zeiger-Waagen. Die Analysen-Waage, welche namentlich der Chemiker gebraucht, ist stets gleicharmig und muss sehr genau gebaut sein. Bevor man es unternimmt mit diesem Präcisionsinstrument zu arbeiten, sollte man sich über seine Beschaffenheit und Behandlung genaue Kenntniss verschaffen. Unvorsichtigkeit verdirbt in einem Augenblicke, was grosse Mühe und Geschicklichkeit des Mechanikers zusammenfügten.

Einrichtung der Waage.

1. Einrichtung und Gebrauch der gleicharmigen Hebelwaage.

Das Stativ.

Das Stativ, welches dem Waagebalken zur Aufnahme dient, an dessen Enden die Schalen mittels der sogenannten Gehänge befestigt sind, kann in der verschiedensten Weise gebaut sein. Bei den Analysen-Waagen (Fig. 244) und meist auch bei den in der Apotheke gebräuchlichen Standwaagen (Fig. 245) besteht das Stativ (*st*) aus einer Metallsäule, die in eine feste, oftmals mit Marmorplatte versehene Unterlage eingelassen ist.

Bei den sogenannten Handwaagen (Fig. 246) der Apotheker, bei denen häufig eine Schalensignatur die ausschliessliche Verwendung

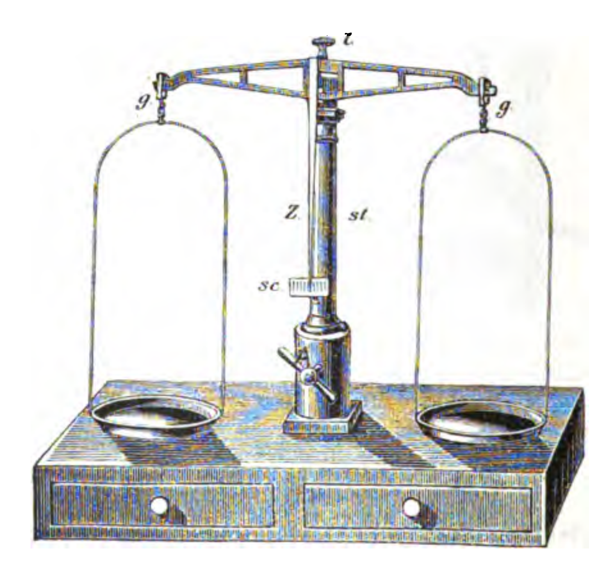


Fig. 245. Apothekenstandwaage mit durchbrochenem Balken aus Stahl und Arretirung desselben, mit Mahagonikasten und Schubladen. Bezeichnungen wie in Fig. 244.

der Waage anzeigt, vertritt der menschliche Arm die feste Säule, und der Waagebalken schwebt in einer gabelförmigen Scheere (*sch*), die mittels eines Ringes direkt mit der Hand gehalten wird.

Der Waagebalken nebst Zubehör.

Bei gewöhnlichen Waagen besteht der Balken aus einem einfachen massiven Metallstabe (Fig. 246 *A*, *b*). Damit derselbe aber behufs leichter Beweglichkeit ein möglichst geringes Eigengewicht besitze, ohne doch dabei an seiner Festigkeit Einbusse zu erleiden, macht man ihn nur in der Mitte, wo er am meisten auf Durchbiegung in Anspruch genommen wird, dicker, und lässt ihn, nach den Enden zu

sich verjüngen und lässt aus demselben Grunde seine vertikale Querdimension die horizontale überwiegen. Für feine Waagen fertigt man ihn nicht massiv, sondern mehrfach durchbrochen an, wodurch er an Leichtigkeit gewinnt, ohne an Haltbarkeit wesentlich einzubüssen (Fig. 244, 245). Das Metall, welches zur Herstellung solcher Balken benutzt wird, muss gegen Einwirkung der Luft, nebst den am häufigsten auftretenden, sie verunreinigenden Gasen und Feuchtigkeit, möglichst widerstandsfähig sein. Das beste, weil gleichzeitig spezifisch leichteste Material ist Aluminium, oder, wegen grösserer Härte noch besser, eine Legirung von 95 °/o Aluminium und 5 °/o Silber. Messingne

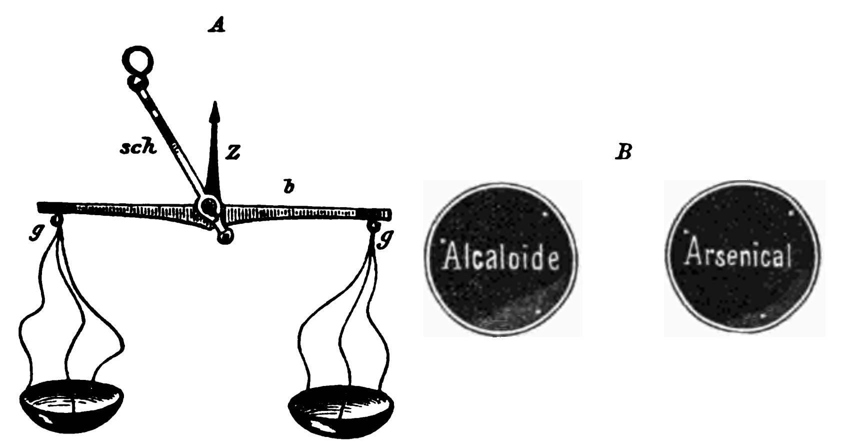


Fig. 246 *A* und *B*. **Apothekenhandwaage mit Messingbalken, Scheere (*sch*) und runden Hornschalen, welche in *B* für besondere Zwecke bezeichnet sind.**

Waagebalken werden meistens vernickelt oder vergoldet. — Der Balken ruht mit der sogenannten Mittelaxe oder Mittelschneide (Fig. 246 *s*) auf einer an der feststehenden Säule oder in der Scheere horizontal angebrachten Fläche, und zwar in der Art, dass er in einer senkrechten Ebene frei pendeln kann. Die mit dem Balken fest verbundene, ihn rechtwinkelig kreuzende Schneide besteht, um die Reibung möglichst zu vermindern, aus der messerscharfen Kante eines dreiflächigen Stahl- oder Achatprismas. Die Grösse des Kantenwinkels ist, je nach der Feinheit der Waage, verschieden. Bei feinen Waagen beträgt dieser Winkel nur 30 °, bei gröberen schwankt er zwischen 60° und 90°. Die Fläche, auf welcher die Axe ruht heisst Pfanne. Ihre Form ist plan, cylindrisch oder dachförmig; erstere muss als die geeignetste bezeichnet werden. Als Material für die Anfertigung der Pfanne dient ebenfalls Stahl oder Achat. — Die beiden

Arme des Waagebalkens müssen an Material und Dimensionen völlig gleich sein, und in der Ruhelage muss der Balken die horizontale Richtung einhalten. Um diese letztere Eigenschaft völlig zu sichern, ist es nöthig, dass er sich in stabilem Gleichgewichte befinde, und zwar muss der Unterstützungspunkt über derjenigen Geraden liegen, durch welche die beiden Angriffspunkte der Lasten verbunden werden, so dass der gemeinschaftliche Schwerpunkt unter den Unterstützungspunkt und zwar ihm möglichst nahe fällt. Befände sich der Schwerpunkt in dem Unterstützungspunkte, so würde der Waagebalken ohne oder bei gleicher Belastung in jeder Stellung im Gleichgewichte sein. Fiele der Schwerpunkt aber über den Unterstützungspunkt, so würde der Balken bei dem geringsten Uebergewicht umschlagen, d. h. um 180° gedreht werden. In beiden Fällen würden demnach ein Schwingen des Balkens um die Mittellage und eine Wägung unmöglich sein. Um nun eine möglichste Annäherung des Schwerpunktes an den Unterstützungspunkt zu bewerkstelligen, befindet sich bei vielen Waagen am oberen Rande des Balkens senkrecht über dem Unterstützungspunkt die Spindel einer Mikrometerschraube, auf welcher sich ein oder zwei Laufgewichte (Fig. 244, 245 *l*), wenn es ihrer zwei sind, von verschiedener Grösse und Schwere, auf- und niederschrauben lassen. Die Bewegung dieser Gewichte bewirkt eine Lageveränderung des Schwerpunktes. Derselbe steigt, wenn sie aufwärts, er sinkt dagegen, wenn sie abwärts gedreht werden. In einzelnen Fällen ist diese Vorrichtung noch dadurch vervollkommnet, dass an dem Laufgewicht ein Knopf excentrisch angebracht ist, durch welchen der Schwerpunkt auch seitlich verschoben werden kann. Bei einzelnen Waagen finden sich auch an den beiden Enden des Balkens Laufgewichte von der genannten Einrichtung (Fig. 244 *c*). Sie werden Hunter'sche Korrektionsschrauben genannt und dienen dazu kleine, durch den Gebrauch der Waage etwa entstandene Unrichtigkeiten in der Länge oder Masse der Hebelarme auszugleichen.

Die horizontale Lage, in welcher der Waagebalken, ohne oder bei gleicher Belastung der beiden Hebelarme, zur Ruhe kommt, ist seine Gleichgewichtslage. Sobald die Belastung auf einer Seite geändert wird, geht er in eine andere Lage über. Es sei AB (Fig. 247) die durch den Waagebalken gelegte Verbindungslinie zwischen den beiden Angriffspunkten der Lasten in der Ruhelage. In der Mitte, vertikal darüber bei C, liegt der durch die Mittelschneide gebildete Unterstützungspunkt und vertikal darunter der Schwerpunkt S. Die an den Hebelarmenden wirkenden Lasten seien dargestellt durch P. Wenn nun auf der einen Seite ein Uebergewicht angebracht wird, so nimmt der Balken eine

andere Lage an. Diese möge $A_, B_,$ sein. CD und CS drehen sich um C nach CD_1 und CS_1 so dass also der Schwerpunkt von S nach S_1 gehoben wird. Der Winkel $SCS_1 = \alpha$, der durch die Balkendrehung entsteht, wird Ausschlag der Waage genannt. Seine Grösse lässt sich mittels eines fest mit dem Balken verbundenen Zeigers, der sogenannten Zunge (Fig. 244, 245, 246 *z*), auf einer, an dem Stativ angebrachten Skala (Fig. 244, 242 *sc*) ablesen. Diese besteht aus einem graduirten Bogenstück, dessen Mittelpunkt in der Drehungsaxe des Balkens liegen soll.

Ausschlag der Waage.

Bei den Schwingungen des Balkens bewegt sich die Zunge abwechselnd nach der einen und nach der anderen Seite der Skala. Wenn diese Zunge die horizontale Richtung des zur Ruhe gekommenen Waagebalkens anzeigen soll, so muss sie den Mittelstrich der Skala

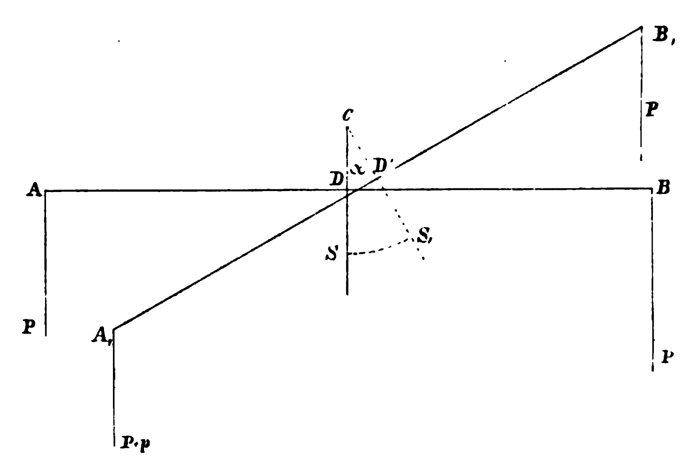


Fig. 247. Schema zur Demonstration des Ausschlags der Waage.

decken. Dies geschieht, falls Temperaturunterschiede nicht verändernd auf den Waagebalken einwirken, wenn die Fussplatte, auf welcher das Stativ vertikal ruht, die horizontale Lage innehält. Unter Benutzung eines an der Waage angebrachten Senkels und einer Libelle und mit Hülfe von Stellschrauben, welche an der Fussplatte angebracht sind, lässt sicht die Lage leicht korrigiren. —

In neuerer Zeit hat man zur Bestimmung des Ausschlags statt der Zunge eine optische Vorrichtung angewandt. Es scheint, dass dieselbe zuerst durch St. von Kruspér (Sitzungsber. d. K. Ungar. Akademie d. Wiss. zu Budapest 18. Febr. 1878; im Auszuge in den Beiblättern zu den Annalen der Physik und Chemie 1880, Bd. IV, p. 639) bei einer zu Aichzwecken dienenden grösseren Waage praktische Verwendung gefunden hat, obgleich schon Gauss sie bei der

Berichtigung der Schneidenstellung einer Waage anwandte. Die Einrichtung ist im Wesentlichen folgende: Auf dem Waagebalken in der Richtung der Axe ist ein kleiner Spiegel befestigt. Ueber demselben, aber ohne Zusammenhang mit den schwingenden Theilen der Waage, befindet sich ein zweiter, gegen den ersten unter einem Winkel von 45° geneigter Spiegel, oder ein rechtwinkeliges, gleichschenkeliges Glasprisma, letzteres ist so gerichtet, dass die eine Kathetenfläche dem am Waagebalken angebrachten Spiegel parallel läuft. Der Hypotenusenfläche des Prismas oder dem unter 45° geneigten Spiegel gegenüber ist horizontal eine mit vertikal verlaufender Theilung versehene Skala aufgestellt. Licht, welches von derselben auf das Prisma oder den geneigten Spiegel fällt, wird derartig gebrochen, dass es auf dem am Waagebalken befestigten Spiegel trifft. Von diesem fast rechtwinkelig reflektirt, gelangt es auf demselben Wege zurück, so dass man, mittels eines etwas oberhalb oder unterhalb der Skala passend eingestellten Fernrohres, ein Bild der Skala erblickt. Wenn der Waagebalken Schwingungen ausführt, so ändert der mit ihm verbundene Spiegel seine Lage gegen den feststehenden Spiegel oder das Prisma, und das Skalenbild bewegt sich derartig durch das Gesichtsfeld des mit Fadenkreuz versehenen Fernrohres, als ob es selbst senkrecht zur Balkenaxe Schwingungen ausführe. Durch den vertikalen Faden im Fernrohre lässt sich der Bewegungsbetrag sehr genau bestimmen. Die hier kurz beschriebene Vorrichtung ist unter dem Namen Poggendorff-Gauss'sche Spiegelablesung bekannt. Die Methode wurde zuerst von Johann Christian Poggendorff in den von ihm begonnenen Analen der Physik und Chemie 1826, Bd. VII, p. 121 beschrieben. Ihre jetzige Form und allgemeine Verwendung bei Messungen kleiner Winkeldrehungen erhielt sie durch Gauss, der darüber in den Göttinger gelehrten Anzeigen 1833, Nr. 205—207 berichtete. Die Mittheilung findet sich auch auf p. 541 ff. des V. Bandes der von der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen hersg. Werke von Gauss. Neuerdings hat P. Czermak der Methode eine eingehende theoretische Betrachtung gewidmet und zur Reduktion der Skalenausschläge genaue Tabellen aufgestellt. Das in deutscher, französischer und englischer Sprache verfasste Werk heisst: Reduktionstabellen zur Gauss-Poggendorff'schen Spiegelablesung. Berlin. Jul. Springer 1890.

Poggendorff-Gauss'sche Spiegelablesung.

An den beiden Enden des Waagebalkens befinden sich, ebenfalls mit ihm fest verbunden, die Endaxen oder Endschneiden, die in gleicher Weise wie die Mittelschneiden beschaffen sind, ihre scharfe Kante aber nach oben richten. Sie dienen zur Aufnahme der Gehänge (Fig. 244, 245, 246 *g*). Während die Mittelaxe zur Drehung des Balkens unbedingt erforderlich ist, haben die Endaxen den Zweck, dass sich die Gehänge in jedem Augenblicke der Bewegung des Balkens ohne Widerstand anpassen, so dass also ihr Schwerpunkt stets lothrecht unter ihrer Verbindungsstelle mit dem Balken bleibt. Die Pfanne für die Endschneiden des Balkens befindet sich an den Gehängen. Diese bestehen aus Haken und Ringen von Stahl, an welche mittels geraden oder gebogenen Drähten, bei gewöhnlichen Waagen auch mittels Ketten, die Schalen angefügt sind. Letztere werden für feine Waagen aus vergoldetem oder platinirtem Messing oder aus einer leichten Aluminiumlegirung angefertigt. Um die Waagen, deren Axen durch die

Die Gehänge.

Die Waagschalen.

Schneide von Prismen dargestellt werden, zu schonen und die Schneiden, wenn das Instrument ausser Gebrauch ist, von den Pfannen abzuheben, dienen die sogenannten Arretirungsvorrichtungen (Fig. 244, 245 *A*). Für den Balken bestehen dieselben im Wesentlichen darin, dass eine Stange denselben auf beiden Seiten der Mittelschneide von unten fasst und in die Höhe hebt. Damit beim Lösen der Arretirung die Balkenschneiden immer in derselben Weise die Pfanne wieder erreichen, darf das Heben und Senken des Balkens nur in einer Ebene erfolgen. Auch darf die Arretirung, wenn sie den noch schwingenden Balken trifft, diesen nicht verschieben. Die Gehänge erhalten ebenfalls zum Schutze der Schneiden eine Abhebevorrichtung. Bei manchen Waagen sind auch die Schalen noch mit einer solchen versehen, die dann meist aus andrückbaren Pinseln oder Tellern besteht. Der Hauptzweck dieser letzteren besteht darin, die bei dem häufigen Auswechseln der zu vergleichenden Massen kaum zu vermeidenden Stösse zu hemmen. Man braucht sie aber auch dazu, durch abwechselndes Heben und Senken etwa entstandene Eigenbewegungen der Gehänge und Schalen zu beseitigen. Am vollständigsten ist die ganze Einrichtung natürlich dann, wenn alle zur Arretirung der einzelnen Waagetheile erforderlichen Handbewegungen durch dasselbe Hülfsmittel bewerkstelligt werden können. Zu diesem Zwecke befindet sich ein knopfartiger Griff (Fig. 244 *A*) ausserhalb des Gehäuses, von welchem jede bessere Waage zum Schutze gegen Staub und Luftzug umgeben sein muss, und in welchem Stoffe Aufnahme finden, welche durch ihre hygroskopische Eigenschaft die Luft um die Waage stets trocken halten. Mendelejeff (Carl's Repertorium Bd. 9, p. 91) hat zuerst vorgeschlagen die vertikal verschiebbaren Arretirungsvorrichtungen durch drehbare Hebel zu ersetzen, und der Mechaniker F. Sartorius in Göttingen hat diesen Vorschlag in sehr zweckmässiger Weise zur Ausführung gebracht. Im Jahre 1889 hat sich L. Reimann eine Balken- und Schalenunterstützung patentiren lassen (D.R.P. 48626 v. 23. März). Diese Vorrichtung besteht aus einem, mit Armen für den Balken und solchen für die Schalen verbundenen Führungsrohr, welches über einer festen Stange federnd verschoben werden kann, und einen quer zu seiner Axe beweglichen, in Ausschnitten der Stange eingreifenden Stift besitzt, durch welchen das Rohr sich lösen und fixiren lässt. Ueber die Arretirung und Auslösung vergleiche man Löwenherz: Metrologische Instrumente p. 251 des Berichtes über die wissenschaftlichen Apparate auf der Londoner Ausstellung 1876, Braunschweig, Vieweg & Sohn, 1878.

Die Arretirung.

Leopold Löwenherz wurde am 31. Juli 1847 in Czarnikau (Posen) geboren. Er war Direktor der physikalisch-technischen Reichsanstalt und starb

L. Löwenherz 1847—1892.

am 30. Oktober 1892 in Berlin. (Nekrolog: Vereinsblatt der deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik 1893, Jahrgang 3, No. 6 und Mittheilungen des Vereins deutscher Glasinstrumenten-Fabrikanten 1892, No. 6.)

Die Anforderungen, welche man an eine gute Waage stellt, sind namentlich zwei. Sie muss richtig oder genau und empfindlich sein. Zur Prüfung der Richtigkeit muss man untersuchen, ob die Konstruktion des Instrumentes in der Weise ausgeführt worden ist, dass die im Vorhergehenden beschriebenen Bedingungen erfüllt werden, ob namentlich die beiden Gehänge vom Drehpunkt des Waagebalkens gleich weit entfernt sind, und ob die Endschneiden mit der Mittel-

Prüfung der Waage.

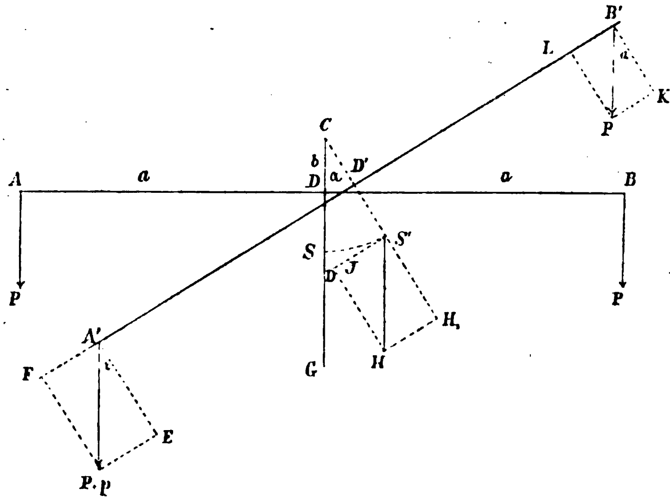


Fig. 248. **Figur zur mathematischen Darstellung für die Empfindlichkeit der Waage.**

schneide in gerader Linie liegen und untereinander parallel sind, ob ferner der Balken für sich allein die horizontale Richtung einhält, ob dies auch noch der Fall ist, wenn die leeren Schalen daran hängen und wenn man dieselben mit einander vertauscht. —

Empfindlichkeit einer Waage.

Unter Empfindlichkeit versteht man die Zunahme des Ausschlagwinkels α für 1 Milligramm Unterschied in der Belastung. Man prüft die Empfindlichkeit für eine bestimmte Belastung, wenn man den Betrag des Zulagegewichtes ermittelt, welches noch einen messbaren Ausschlag der Waage hervorruft. Je grösser die Empfindlichkeit ist, um so kleinere Gewichtsdifferenzen lassen sich messen. Feine Analysenwaagen, welche ohne Nachtheil in jeder Schale 1 Kilo zu tragen vermögen, müssen so empfindlich sein, dass sie noch durch ein Uebergewicht von 0,5 Milligramm einen deutlichen Ausschlag geben.

Die Waage ist um so empfindlicher: 1. je länger die Arme sind, 2. je leichter der Balken ist, 3. je näher die drei Schneiden derselben Horizontalebene liegen, 4. je näher der Drehpunkt dem Schwerpunkte des Balkens liegt. —

Wenn man diese Bedingungen, welche eine gute Waage erfüllen muss, mathematisch behandelt, so gelangt man für den Ausschlagswinkel α zu der Formel

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a\, p}{b\,(2\,P + p) + c\, G}$$

wie aus folgender Betrachtung hervorgeht.

In unserer Fig. 248 sei $AD = DB = a$, CD bezeichnen wir mit b, CS mit c und das im Schwerpunkte S beziehungsweise S' vereinigt gedachte Gewicht der Waage mit G. Wenn sich nun links $P + p$ befindet, so können wir die Wirkung auf den Waagebalken erfahren. Wir zerlegen $P + p$ in A_1E und A_1F, dann bildet A_1E mit der vertikalen $A_1P + p$ den Winkel α und es ist daher:

$$A_1E = (P + p) \,.\, \cos \alpha \text{ und}$$
$$A_1F = (P + p) \,.\, \sin \alpha$$

Das Gewicht G der Waage, dargestellt durch S_1H zerlegen wir in S_1H_1 und S_1J ' A_1B_1. Dann ist

$$S_1H_1 = G \,.\, \cos \alpha \text{ und}$$
$$S_1J = G \,.\, \sin \alpha$$

Endlich zerlegen wir P für B_1 in B_1K und B_1L und haben dann

$$B_1K = P \,.\, \cos \alpha \text{ uud}$$
$$B_1L = P \,.\, \sin \alpha$$

A_1F und B_1L wirken direkt auf CD_1; S_1J wirkt auf CS_1; B_1K auf B_1A_1 und diese vier „Kräfte“ suchen eine Rückwärtsdrehung des Balkens zu bewerkstelligen. S_1H_1 wird dadurch, dass der Punkt C befestigt ist, aufgehoben, so dass nur noch A_1E übrig bleibt, wodurch der angestrebten Rückwärtsdrehung des Balkens entgegengewirkt wird. Nach dem Satze von den statischen Momenten besteht nun folgende Gleichung:

$$a \,.\, A_1E + b \,.\, A_1F + c \,.\, S_1J + b \,.\, B_1L + a \,.\, B_1K = 0$$
$$\text{oder } b\,(A_1F + B_1L) + c \,.\, S_1J = a\,(A_1E - B_1K)$$

Setzt man in diese Gleichung obige, bei der Zerlegung erhaltenen Werthe ein, so erhält man

$$b \,.\, \sin \alpha\,(2\,P + p) + c \,.\, G \,.\, \sin \alpha = a \,.\, p \,.\, \cos \alpha$$

woraus sich ergiebt:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a\, p}{b\,(2\,P + p) + c \,.\, G}$$

Hieraus ist ersichtlich, dass der Ausschlagwinkel α, also die Empfindlichkeit der Waage, um so grösser ist, je grösser bei demselben Uebergewicht p die Länge der Balkenarme a ist und je kleiner die Belastung P, das Gewicht der Waage G sowie die Entfernung b zwischen der Drehungsaxe und der Längsaxe des Waagebalkens und der Entfernung c zwischen der Drehungsaxe und dem Schwerpunkte ist. Wenn $b = o$ ist, d. h. wenn die Drehungsaxe genau in der Längsaxe des Balkens liegt, so verwandelt sich die obige Gleichung in:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a\, p}{c \,.\, G}.$$

Dann ist also die Empfindlichkeit ganz unabhängig von der Belastung P und dieser Umstand wird von dem Mechaniker bei der Anfertigung einer Waage möglichst angestrebt. Würde man nun aber auch c = o setzen, also die Drehungsaxe durch den Schwerpunkt gehen lassen, so würde $\operatorname{tg} \alpha = \infty$, also $\alpha = 90°$ werden, d. h. der Waagebalken würde bestrebt sein, sich bei dem geringsten Uebergewicht p vertikal zu stellen.

Luftdämpfung für langarmige Waagen.

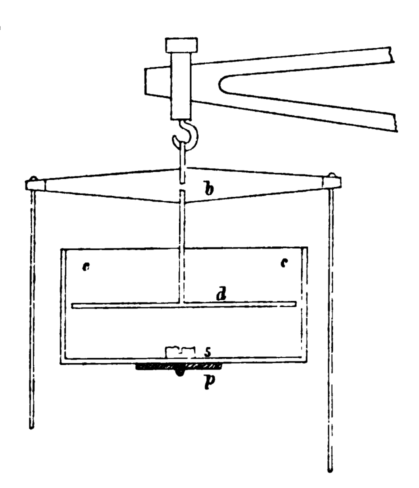


Fig. 249. Luftdämpfung für langarmige Waagen nach Arzberger, Bezeichnungen im Text. (Aus Liebig's Annalen der Chemie Bd. 178, Taf. III.)

Um bei langarmigen Waagen die Schwingungsdauer des Balkens abzukürzen und somit ein schnelleres Arbeiten zu ermöglichen, wurde im Jahre 1875 von Arzberger (Luftdämpfung für analytische Waagen. Annalen der Chemie Bd. 78, p. 382 ff. Taf. III) eine Luftdämpfung vorgeschlagen, durch welche die langdauernden Oscillationen abgekürzt werden. In dem Querbalken *b* (Fig. 249), welcher die eine Schale trägt, befindet sich dicht unterhalb des Loches, durch welches die Verbindung mit dem Gehänge geht, ein zweites Loch, in welches eine kreisförmige, im Durchmesser 67 mm haltende, ½ mm dicke, vergoldete Messingplatte, der sogenannte Dämpfer *d* eingehakt ist.

Diese Platte hängt in einem Cylinder *c*, dessen Wand nur ½ mm vom Rande der Platte absteht. Der Cylinder ist an seinem Boden mittels einer durch dessen Mittelpunkt gehenden Schraube *s* an einer Platte *p* befestigt, welche sich mit einer an dem Waagegehäuse befestigten Säule in Verbindung bringen lässt. Bevor man diese letztere herstellt, giebt man dem Cylinder eine solche Lage, dass der Dämpfer, ohne anzustossen, auf und nieder geht. Der Cylinderboden trägt noch ein Loch, welches nach Belieben durch Verschieben der Platte *p* geschlossen oder freigegeben werden kann. Auf diese Weise kann man die Dämpfung voll wirken lassen, vermindern, oder ganz aufheben. An der gegenüberliegenden Waagschale befindet sich eine zur Herstellung des Gleichgewichtes erforderliche Last, welche analog dem Dämpfer aufgehangen ist. „Viele wiederholte Versuche haben gezeigt, dass bei verschiedenen Störungen des Gleichgewichtes der Waage, die Zunge immer genau auf denselben Punkt einspielt, dass somit in der That die Dämpfung nur ein dynamisches Hinderniss

ist, welches die statischen Gleichgewichtsverhältnisse nicht im Geringsten beeinflusst." Später hat P. Curie (Sur une balance de précision apériodique et à lecture directe des derniers poids. Compt. rend. 1889. T. 108, p. 663, 2 Fig.) zur Dämpfung der Schwingungen des Waagebalkens zwei Systeme ineinander greifender Doppelglocken konstruirt, welche von jedem Gehänge unterhalb der Schale getragen werden und durch den Boden des Waagekastens hindurchtreten. Um den Waagebalken, falls derselbe beim Lösen der Arretirung keine ablesbaren Schwingungen ausführt, in stärkere Schwingungen zu versetzen, beziehungsweise um solche zu dämpfen, hat J. Stefan ein



Fig. 250. Analysenwaage. System Bunge. Mit kurzem Balken aus Aluminium und vergoldeten Schalen, auf Marmorplatte in seitlich zu öffnendem Mahagonikasten. Arretirung nach F. Sartorius.

kleines Gebläse in Anwendung gebracht, mit Hülfe dessen man einen Luftstrom gegen die untere Fläche einer der Schalen wirken lassen kann.

An Stelle der langarmigen Waagen konstruirte Bunge in Hamburg zuerst kurzarmige (Fig. 250) und ermöglichte durch die kürzere Schwingungsdauer, welche dieselben besitzen, ein schnelleres Arbeiten. Es stellte sich aber heraus, dass die Empfindlichkeit bei diesen Waagen mit der Temperatur sehr wechselt, während dieselbe auf die Empfindlichkeit langarmiger Waagen fast unmerklich ist. Frerich's (Ueber eine verbesserte Waage mit Balken aus Aluminium. Liebig's Annalen der Chemie Bd. 178, p. 365) versuchte die Vortheile des einen Instrumentes mit denen des anderen zu vereinigen.

Während Bunge's Waagebalken aus mehreren Stücken verschiedener Metalle zusammengefügt war, woraus sich die wechselnde Empfindlichkeit des Instrumentes hei Temperaturschwankungen erklärt, liess Frerichs durch den Mechaniker F. Sartorius in Göttingen den Waagebalken aus ein und demselben Metall, und zwar aus Aluminium anfertigen und erlangte auf diese Weise, sowie durch eine veränderte Arretirungsvorrichtung (Zeitschrift für Instrumentenkunde, 2. Jahrg. 1882, p. 385) äusserst befriedigende Resultate. Heute sind kurzarmige Waagen vielfach gebräuchlich.

Die Wägung.

Das Wägen mit einer feinen Waage erfordert grosse Sorgfalt. Für die Verrichtungen, welche man an dem Instrumente auszuführen hat, ist es zweckmässig, dass die Wände des Gehäuses aus Fenstern bestehen, welche man nur soweit öffnet als gerade nöthig, um die Hände einführen zu können. Jedenfalls ist darauf zu achten, dass der Athem nicht in das Innere dringe. Zur Ausgleichung der kleinsten Gewichtsdifferenzen bedient man sich, weil die gewöhnlichen Gewichtsstücke mit zunehmender Kleinheit leicht unhandlich werden, der sogenannten Reitergewichte. Dieselben bestehen aus feinem Gold- oder Platinadraht, welcher hakenförmig gebogen ist (Fig. 244*r*). Sie lassen sich mittels einer Stangenvorrichtung, welche durch die Seitenwand des Gehäuses hindurchtritt ohne dass es nöthig wird dieses zu öffnen, auf den Waagebalken setzen und daselbst verschieben. Das Gewicht eines solchen Reiters beträgt gewöhnlich 1 Centigramm. Der obere Rand desjenigen Balkenarmes, an welchem die für die Gewichte bestimmte Schale hängt, ist vom Mittelpunkte aus bis zum Gehänge in zehn gleiche Theile getheilt, und jeder dieser wiederum in zehn gleiche Unterabtheilungen. Der Theilstrich, auf welchem der Reiter sitzen muss, wenn Gleichgewicht herrschen soll, zeigt dann das Plus beziehungsweise das Minus an, welches die Gewichte erfahren. Auf dem ersten Haupttheilstriche ruft der Reiter dieselbe Wirkung hervor, wie 1 Milligramm in der Waagschale, weil er an einem Hebelarm sitzt, der nur 0,1 des Waagebalkens beträgt. Auf dem zweiten, dritten, n-ten Theilstriche hat der Reiter also die Wirkung von zwei, drei, n-Milligrammen. Die zwischen den Haupttheilstrichen befindlichen Marken geben Bruchtheile von Milligrammen an. Der Wiener Mechaniker J. Nemetz (Zeitschrift f. Instrumentenk. Juli 1892) hat eine Reiterverschiebung konstruirt, welche von der Vorderseite des Waagekastens aus in Thätigkeit gesetzt wird.

(Marginal note: Reitergewicht.)

Historisches über Reitergewichte.

Die Idee der Reitergewichte scheint von dem Schweden Gahn herzurühren, welche er an einer nach seinen Angaben konstruirten Waage verwirklichte. Sein berühmter Landsmann Berzelius beschreibt mit Gahn's Genehmigung das

Instrument und die dabei verwendete Reitervorrichtung. Die Beschreibung findet sich in seinem: Lärebok i Kemien. Dasselbe liegt mir in einer französischen Uebersetzung vor, welche, wie es scheint, wenig bekannt ist, wenigstens finde ich sie nicht in der Geschichte der Chemie Kopp's, von Meyer's und Hoefer's erwähnt. Der Titel der acht Bände umfassenden Uebersetzung lautet: Traité de Chimie par J. J. Berzelius, traduit par Me. Esslinger (der 1. Band ist von A. J. L. Jourdan) sur des Manuscrits inédits de l'Auteur et sur la dernière édition allemande (vermuthlich die vierbändige, in den Jahren 1825—31 von Wöhler verfasste gemeint). Die Uebersetzung ist mit einem „Avis" des Herausgebers und einer Vorrede von Berzelius mit dem Datum: Stockholm 20. Novemb. 1828 versehen. Das Werk ist bei J. B. Baillière in Paris in den Jahren 1829—1833 erschienen. — Die betreffende Mittheilung von Berzelius über die Gahn'sche Einrichtung findet sich im achten Bande S. 122.

J. G. Gahn 1745—1818.

Johann Gottlieb Gahn wurde am 19. August 1745 in Voxna (Süd-Helsingland) geboren, war Bergbeamter im schwedischen Bergkollegium und starb am 8. Dezember 1818 in Stockholm.

Behandlung der Waage, und Wägungsmethoden.

Für das Arbeiten mit der Waage sind ferner folgende Bedingungen einzuhalten: Man legt die zur Verwendung kommenden Gewichte möglichst der Reihe nach, ohne eins zu übergehen, auf die Schale. Die Gewichte dürfen nur bei arretirter Waage aufgelegt und gewechselt werden. Um keine unnöthigen Schwingungen des Balkens hervorzurufen, soll ein zu schweres Gewicht nicht früher abgenommen werden, als bis das nächstkleinere aufgelegt wurde. Um bei grösseren Gewichten das schnelle Sinken des Balkens und damit eine Schädigung der Schneiden zu verhindern, löst man die Arretirung nicht gleich vollständig aus.

Die Methoden, welche man beim Abwägen der Körper einschlägt, sind verschiedener Art.

Das gewöhnliche Verfahren, wobei man so lange mit Schalen- und Reitergewichten operirt, bis die Zunge gleich weite Ausschläge zu jeder Seite des mittelsten Theilstriches der Skala macht und schliesslich auf diesem zur Ruhe kommt, hat mehrere Nachtheile. Einmal setzt es voraus, dass die Zunge bei unbelasteter Waage genau diesen Theilstrich deckt und dass, wenn dies nicht der Fall ist, die richtige Einstellung mittels der Korrektionsvorrichtungen bewirkt wird, andererseits ist es nur bei Waagen mit Reiterverschiebung anwendbar und überdies sehr zeitraubend. Leichter und schneller gelangt man mit der Wägung durch Schwingungsbeobachtung und Interpolation zum Ziel.

Hierbei wendet man zunächst seine Aufmerksamkeit der Bestimmung des Ruhepunktes der unbelasteten Waage zu. Man wartet dabei das Aufhören der Schwingungen nicht ab, sondern berechnet ihn aus einigen Umkehrpunkten der schwingenden Zunge. Um die Ausschläge derselben nach den verschiedenen Seiten nicht mit posi-

tivem und negativem Vorzeichen benennen zu müssen, bezeichnet man den Ruhepunkt nicht mit 0 sondern mit 10 und zählt die Theilstriche von rechts nach links. Es sei beispielsweise bei der ersten Schwingung des unbelasteten Waagebalkens die grösste Abweichung der Zunge nach links 10,4, die grösste nach rechts 9,1. Bei der zweiten Schwingung seien die entsprechenden Zahlen 10,3 und 9,2. Das arithmetische Mittel der Abweichung nach rechts ist alsdann 9,15, nach links 10,35, also die Ruhelage der Zunge oder der sogenannte Nullpunkt $\frac{10,35 + 9,15}{2} = 9,7 = n_0$.

Die Genauigkeit der Bestimmung wächst natürlich mit der Anzahl der beobachteten Schwingungen.

Da die Grösse des Zungenausschlages bei jeder folgenden Schwingung sich vermindert, so ist es für die Beobachtung am zweckmässigsten, dass der erste und letzte der beobachteten Ausschläge nach derselben Seite gerichtet seien, dass dieselben also in ungerader Zahl notirt werden. Alsdann beginnt man lege artis mit der eigentlichen Wägung. Wenn zuletzt die Schwingungen nach beiden Seiten der Skala annäherend gleich sind, so beobachtet man wiederum, wie bei der unbelasteten Waage, die Abweichungen. Dann entfernt man ein oder einige Milligramme, oder fügt sie hinzu, je nachdem das Gewicht zu schwer oder zu leicht war, wodurch die Einstellung auf die andere Seite des Nullpunktes fällt, und wiederholt die Schwingungsbeobachtungen abermals.

Das aufgelegte Gewicht (g) betrage beispielsweise 15,671 Gramm und die Beobachtung der Abweichungen habe ergeben:

links	10,3	rechts	8,1
„	10,2	„	8,5
„	10,1		

$$\text{Mittel: } \frac{30,6}{3} = 10,2 \quad \frac{16,6}{2} = 8,3.$$

$$\text{Einstellung: } \frac{10,2 + 8,3}{2} = 9,25 = n.$$

Nach Hinzufügung von 1 Milligramm, also für 15,672 Gramm = G mögen dann die Abweichungen die folgenden sein:

links	10,5	rechts	9,4
„	10,3	„	9,5
„	10,3		

$$\text{Mittel: } \frac{31,1}{3} = 10,37 \quad \frac{18,9}{2} = 9,45.$$

$$\text{Einstellung: } \frac{10{,}37 + 9{,}45}{2} = 9{,}91 = \text{N}.$$

Es beträgt somit der Ausschlag auf 1 Milligramm

$$9{,}91 - 9{,}25 = 0{,}66.$$

Die auf die Waagschale gelegten 15,672 Gramm sind also zu schwer um

$$\frac{9{,}91 - 9{,}7}{0{,}66} = 0{,}318 \text{ Milligramm.}$$

Es beträgt somit das Gewicht (g_0) des in Betracht kommenden Stoffes 15,671682 abgerundet = 15,6717 Gramm.

Allgemein wird bei dieser Methode das Gewicht g_0 eines Körpers, weil für kleine Ausschläge die Einstellung der Zunge sich proportional der Gewichtsveränderung verschiebt, d. h. zwischen der Differenz der Einstellungen und der Gewichte Proportionalität besteht, durch die Gleichung ausgedrückt:

$$\frac{n_0 - n}{N - n} = \frac{g_0 - g}{G - g},$$

woraus sich ergiebt:

$$g_0 = g + (G - g)\frac{n_0 - n}{N - n}.$$

Setzt man die Werthe aus obigem Beispiel in diese Formel ein, so erhält man:

$$g_0 = 15671 + 1 \cdot \frac{9{,}7 - 9{,}25}{9{,}91 - 9{,}25} = 15671 + \frac{0{,}45}{0{,}66} = 15671 + 0{,}682$$
$$= 15{,}6717 \text{ Gramm.}$$

Die allgemein übliche Auswerthung der Schwingungsbeobachtungen geschieht mit drei hintereinander abgelesenen Ausschlägen; dieselben seien a, b u. c. Dann beobachtet man die Gleichgewichtslage aus:

$$n = \frac{a + 2b + c}{4}$$

Beispiel: $a = 10{,}4$ $b = 9{,}2$ $c = 10{,}3$
dann wird

$$n = \frac{10{,}4 + 2 \cdot 9{,}2 + 10{,}3}{4} = \frac{39{,}1}{4} = 9{,}775.$$

Um sich von Fehlern, welche die verschiedene Armlänge mit sich bringt, frei zu machen, wendet man die Tarir- oder Substitutionswägung an. Auf die eine Schale legt man die abzuwägende Masse auf die andere eine sogenannte T a r a (arab. *'taraha* wegwerfen, entfernen), welche aus Bleistücken, Schrotkörnern, kleinen Granatstücken und leichteren Körpern, wie Papierschnitzeln und Holundermark besteht. Nachdem man durch ein derartiges Tariren die Waage ins Gleichgewicht gebracht hat, nimmt man die zu wägende Masse ab und legt an ihre Stelle Gewichte, bis wiederum Gleichgewicht herrscht.

Letztere geben genau das gesuchte Gewicht. Diese Methode ist deswegen sehr einfach, weil der Nullpunkt der Waage dabei nicht in Betracht kommt, doch hat man auch hier die Schwingungsausschläge zu beobachten und entsprechend in Rechnung zu ziehen.

Im Laboratorium und in der Apotheke kommt man täglich in die Lage in ähnlicher Weise leere Gefässe zu tariren, um sie alsdann mit einer bestimmten Menge irgend einer Substanz zu füllen. Die Tarirmethode wurde im Jahre 1788 von Jean Charles Borda eingeführt.

Endlich giebt es noch die Wägungsmethode von Gauss mit Vertauschung der Massen. Bei dieser legt man den zu wägenden Körper beispielsweise auf die linke, die zur Herstellung des Gleichgewichts erforderlichen Gewichtsstücke (p_1) auf die rechte Schale. Darauf vertauscht man die Massen und bringt die Waage durch die erforderlichen Gewichtsstücke (p_2), welche in diesem Falle in diejenige Schale gelegt werden, in welcher sich vorher der zu wägende Körper befand, wieder ins Gleichgewicht. Das gesuchte Gewicht des Körpers ist dann:

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2}.$$

Setzt man nämlich die Länge des rechten Hebelarmes $= r$, die des linken gleich l, so hat man

$$p \cdot l = p_1 \cdot r$$

und $p \cdot r = p_2 \cdot l$, woraus sich ergiebt

$$p^2 = p_1 \cdot p_2 \text{ und}$$

$$p = \sqrt{p_1 \cdot p_2}$$

Wenn aber $p_1 - p_2$, wie hier stets, nur eine kleine Grösse ist, so kann man statt des geometrischen Mittels bequemer das arithmetische $\frac{p_1 + p_2}{2}$ setzen. —

Der Mechaniker Nemetz hat Universal-Präcisionswaagen gebaut mit Vorrichtung zur Auflegung der Bruchgramme auf die Waagschale und Abhebung derselben bei geschlossenem Waagekasten. Dieses neue, sogenannte Additionsverfahren hat sich rasch eingeführt und ist bereits vielfach in grossen Laboratorien in Verwendung.

Die Additions-Bruchgramme (Fig. 251 *A*), in Form ähnlich dem lateinischen M, sind in zwei Serien getheilt, und zwar 9 Stück je zu 100 mg (0,1 g) und 9 Stück je zu 10 mg (0,01 g), zusammen 990 mg (0,99 g), was inclusive des Reitergewichts zu 10 mg gerade 1000 mg = 1 g ausmacht. Die Gewichte hängen auf Stiften von abgestufter Länge. Die Stifte sind in Kreisform auf einem drehbaren Stern (Fig. 251 *B*) befestigt. Zur Ablagerung der Gewichte dient ein kleines Doppellineal mit sägeförmigen Einkerbungen, welche mit den Abstufungen der Aufhängestifte korrespondiren. Das Doppellineal ist am Schalenbügel der rechten Waagschale befestigt und kommt bei Ein-

hängung derselben in einem Winkel von 90° zum Waagebalken zu stehen, oder es befindet sich, je nach Konstruktion der Waage, direkt am Gehänge der rechten Waagschale (Fig. 251 *E*) und steht in diesem

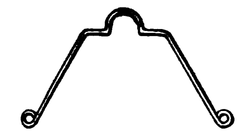


Fig. 251 *A*. Additionsgewicht von Nemetz, M-förmig (natürliche Grösse).

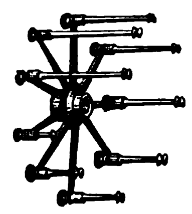


Fig. 251 *B*. Sternförmiger Träger von Nemetz für die Additionsgewichte.

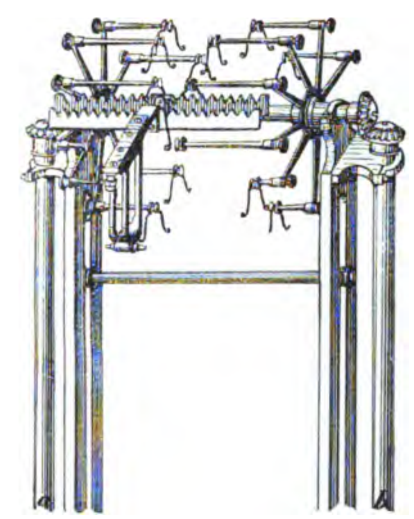


Fig. 251 *C*. Nemetz' Einrichtung des Auflegeapparates für die Additionsgewichte während des Gebrauches.

Falle hinter dem Waagebalken, und zwar parallel zu demselben. Es ergiebt sich in beiden Fällen die Stellung dieses sägeförmigen Doppellineals zur Auflegevorrichtung ganz von selbst.

Ist die Einrichtung in Funktion, so bewegen sich die Stifte im Kreise, zwischen den Lamellen des Doppellineals hindurch, wobei die Gewichte in den Einkerbungen des letzteren abgelagert werden, während die Stifte ihre drehende Bewegung fortsetzen (Fig. 251 *C*).

Ein Herunterfallen der Gewichte ist ausgeschlossen.

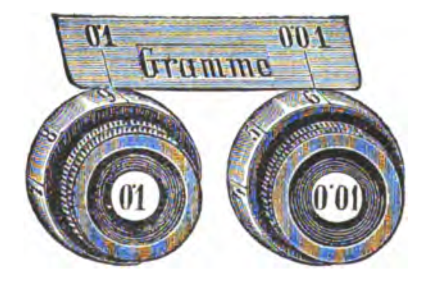


Fig. 251 *D*. Schlüssel.

Jede der zwei Gewichtsserien ist unabhängig von der anderen in Funktion zu setzen, und es sind zu diesem Zwecke ausserhalb des Kastens, vorne am Sockel, zwei runde Schlüssel angebracht, deren

jeder im Kreise von 0 bis 9 getheilt und auch so beziffert ist (Fig. 251 *D* u. *E*).

Der Schlüssel für die 100 Milligramm-Gewichte ist mit 0,1, jener für die 10 Milligramm-Gewichte mit 0,01 gezeichnet; beide Schlüssel sind abnehmbar und können in dem Waagegehäuse aufbewahrt

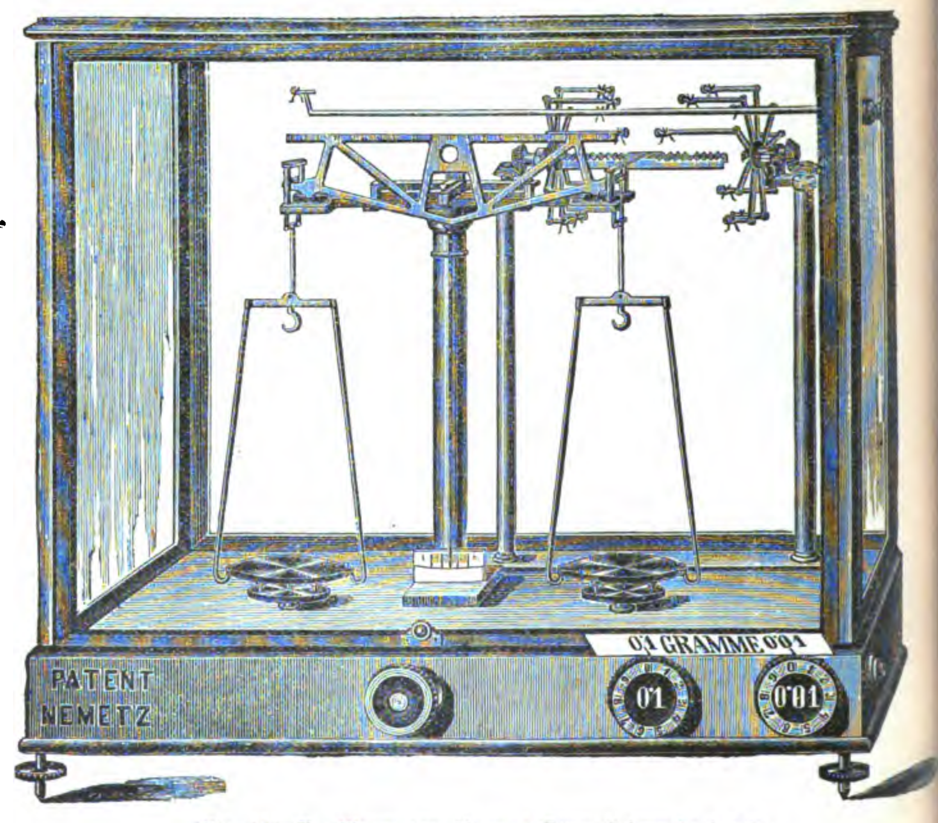


Fig. 251 *E*. Waage von Nemetz zum Gebrauche bereit.

werden, wodurch die Berührung durch Unberufene vermieden wird. Am Kastensockel oberhalb eines jeden Schlüssels ist der gleiche Gewichtswerth eingravirt (Fig. 251 *D* und *E*). Nach vollendeter Aufstellung der Waage werden die M-förmigen Additions-Bruchgramme mittels Pincette auf die Stifte gehängt; zuvor werden aber die Schlüssel der Auflegevorrichtung so gestellt, dass *O* der Theilscheibe mit dem Index (Fig. 251 *E*) übereinstimmt. Haben beide Gewichtsserien ihren Platz erhalten, so ist die Waage zum Gebrauche fertig.

Durch Drehen der Schlüssel nach links setzen sich die Gewichte auf, durch Rechtsdrehung werden sie abgehoben. Bei 0 und 9, das ist beim Anfang und bei Beendigung der Gewichtsauflegung, ist das Weiterdrehen durch Anschlag begrenzt.

Das Wägen mit dem Additionssystem geschieht in folgender Weise: Es wird bei offenem Kasten bis auf 1 g ausgewogen; die weitere Gewichtsbestimmung, in allen Bruchtheilen, wird bei geschlossenem Gehäuse vorgenommen.

Dazu löst man die Arretirung der Waage so viel aus, dass die Zunge ungefähr bis auf die Hälfte der Elfenbeinskala nach rechts ausschlägt, also Uebergewicht auf der linken Schale zeigt, dreht dann mit dem 0,1 gezeichneten Schlüssel mässig schnell so lange nach links, bis die Zunge auf die entgegengesetzte Seite schwingt; während dieser Vorgänge sieht man nur auf die Elfenbeinskala, da alles Andere sich automatisch von selbst abspielt.

Das Schwingen des Waagebalkens auf die entgegengesetzte Seite ist ein Zeichen, dass bereits ein Gewicht zu viel aufgelegt wurde; man dreht deshalb so weit zurück, dass das zuviel aufgelegte Gewicht abgehoben wird; hierbei soll eine Ziffer des Schlüssels stets mit dem Index übereinstimmen. Durch Abnahme des zuviel aufgelegten 100 Milligramm-Gewichtes entsteht abermals Uebergewicht auf der linken Schale, welches aber jetzt nur mehr unter 100 mg sein kann und durch die gleiche Manipulation mit dem Schlüssel 0,01 bis auf 10 mg ausgewogen wird. Die noch vorhandene Gewichtsdifferenz, jetzt nur noch unter 10 mg, wird, wie sonst üblich, mittels Reiterverschiebung ausgeglichen.

Die Notirung der Gewichtssumme geschieht durch Zählung der ganzen Gramme auf der Schale und Ablesung derjenigen Ziffern von beiden Schlüsseln, welche gerade mit dem Index übereinstimmen; z. B. der Schlüssel 0,1 zeigt die Ziffer 9, das sind neunhundert, der Schlüssel 0,01 zeigt 6, das sind sechzig, also zusammen 960 mg (0,96 g) (Fig. 251 *D*).

Während dieses ganzen Verfahrens braucht die Waage auch nicht einmal arretirt zu werden, da die Einrichtung die Gewichtsauflegung und Wiederabnahme auch bei schwingender Waage gestattet. Eine auf $^1/_{10}$ mg genaue Gewichtsbestimmung dauert nicht länger als eine halbe Minute.

Nachdem die Auflegungsvorrichtung durch Kegelräder in Bewegung gesetzt wurde, ist jede Störung ausgeschlossen, und die neue Einrichtung ist deshalb älteren Konstruktionen, bei welchen die Bewegung mittels Tasten (Klaviatur) oder Hebel geschieht, und bei welchen

Gewichte ungleicher Schwere (0,5, 0,2, 0,1, 0,1, 0,05, 0,02, 0,01, 0,01 g) Anwendung finden, vorzuziehen.

Nemetz baut auch Waagen, bei welchen sich die Gewichtsauflegungsvorrichtung nicht nur über Bruchgramme, sondern auch über ganze Gramme erstreckt.

Reduktion der Wägung auf den leeren Raum.

Wenn es sich um grosse Genauigkeit handelt, muss man die Wägungen auf den leeren Raum reduziren, da jeder in Luft getauchte Körper dem bekannten archimedischen Prinzipe unterliegt. Wenn daher der zu wägende Körper und die in Gebrauch kommenden Gewichtsstücke nicht gleiches Volumen besitzen, ein Fall der sich wohl äusserst selten ereignen dürfte, so ist der Gewichtsverlust, den beide in der Luft erleiden, verschieden, und das durch die Wägung ermittelte Gewicht ist entweder zu gross oder zu klein, je nachdem der zu wägende Körper die Gewichtsstücke an Volumen übertrifft, oder in diesem hinter ihnen zurückbleibt.

Bezeichnet man mit δ, d und D die Dichtigkeit der Luft, der Gewichtsstücke und des Körpers, mit v und V die Volumina der Gewichtsstücke und des Körpers, so beträgt der Gewichtsverlust in der Luft für letzteren δV, für erstere δv. Da nun das gefundene Gewicht des Körpers p und sein wahres Gewicht P nach Abzug dieser Verluste gleich sind, so hat man

$$P - \delta V = p - \delta v$$

Es ist nun bekanntlich

$$V = \frac{P}{D} \text{ und } v = \frac{p}{d}$$

Durch Einsetzen dieser Werthe erhält man folglich

$$P - \delta \frac{P}{D} = p - \delta \frac{p}{d} \text{ oder}$$

$$P\left(1 - \frac{\delta}{D}\right) = p\left(1 - \frac{\delta}{d}\right).$$

$$\text{Daher } P = p \frac{1 - \frac{\delta}{d}}{1 - \frac{\delta}{D}} \text{ oder angenähert}$$

$$P = p\left(1 - \frac{\delta}{d} + \frac{\delta}{D}\right)$$ indem man, wenn es sich um feste oder flüssige Körper handelt δ gegenüber d und D als sehr klein betrachten darf. Nun ändert sich allerdings der Werth von δ mit der Temperatur und dem Luftdruck, für besonders feine Wägungen entnimmt man daher δ aus Tabellen, in welchen beide berücksichtigt worden sind.

Für gewöhnlich genügt es $\delta = 0{,}0012$ zu wählen; es liegt nämlich δ zwischen 0,00115 und 0,00125 wenn

bei dem Luftdruck	720 mm	740 mm	760 mm	780 mm
die Lufttemperatur beträgt:	-5^0 bis $+18^0$	$+2^0$ bis 26^0	$+9^0$ bis 34^0	$+17^0$ bis 42^0

Die anzubringende Reduktionskorrektur ist somit:

$$R = p \,.\, 0{,}0012\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d}\right)$$

Die folgende Tabelle giebt unter Annahme von $\delta = 0{,}0012$ die für Messinggewichte R (M), Platinagewichte R (Pt) und Quarz(Bergkrystall)-

gewichte R (Q) in Betracht kommende Korrektur in Milligramm, welche auf jedes Gramm des gefundenen Gewichtes des Körpers von der Dichtigkeit D anzubringen ist, um die Wägung auf den leeren Raum zu reduziren.

Beispiel: Man habe das scheinbare Gewicht p mit Messinggewichten, deren Dichtigkeit = 8,5 sei, zu 15 g gefunden und der Körper besitze D = 3,5, dann ist

$$P = 15 + 15 \cdot 0{,}00020$$
$$= 15{,}003 \text{ Gramm.}$$

δ	R (M)	R (Pt)	R (Q)
0,7	+ 0,00157	+ 0,00166	+ 0,00126
0,8	0,00136	0,00144	0,00105
0,9	0,00122	0,00128	0,00091
1,0	0,00106	0,00114	0,00075
1,1	0,00095	0,00103	0,00064
1,2	0,00086	0,00094	0,00055
1,3	0,00078	0,00087	0,00047
1,4	0,00071	0,00080	0,00040
1,5	0,00066	0,00074	0,00035
1,6	0,00061	0,00069	0,00030
1,7	0,00056	0,00065	0,00025
1,8	0,00052	0,00061	0,00021
1,9	0,00049	0,00058	0,00018
2,0	0,00046	0,00054	0,00015
2,2	0,00040	0,00049	0,00009
2,4	0,00036	0,00044	0,00005
2,6	0,00032	0,00040	0,00001
2,8	0,00029	0,00037	— 0,00002
3,0	0,00026	0,00034	0,00005
3,5	0,00020	0,00029	0,00011
4,0	0,00016	0,00024	0,00015
5 0	0,00010	0,00018	0,00021
6,0	0,00006	0,00014	0,00025
7,0	0,00003	0,00012	0,00028
8,0	0,00001	0,00009	0,00030
9,0	— 0,00001	0,00008	0,00032
10,0	0,00002	0,00006	0,00033
12,0	0,00004	0,00004	0,00035
14,0	0,00006	0,00003	0,00037
16,0	0,00007	0,00002	0,00038
18,0	0,00008	0,00001	0,00039
20,0	0,00008	0,00000	0,00039
22,0	0,00009	0,00000	0,00040

In den meisten Fällen vernachlässigt der Chemiker bei der Analyse derartige Korrekturen. Dies ist aber nur zulässig, so lange es sich um relative Gewichtsbestimmungen handelt und anderweitige mögliche Fehler der Beobachtung grösser sind, als die Korrektion. Unstatthaft aber ist die Vernachlässigung, wenn sich theoretische Erwägungen an die Zahlenwerthe knüpfen. Auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft und dessen Schwankungen braucht keine Rücksicht bei der Wägung genommen zu werden, so lange die geforderte Genauigkeit 0,1 Milligramm nicht übersteigt, und das Waagegehäuse mit geeigneten Mitteln trocken gehalten wird.

Historisches über die gleicharmige Hebelwaage.

Alkhazîni aus Jurjâniyah um 1121.

Die Konstruktion der gleicharmigen Hebelwaage lässt sich zurück verfolgen bis auf den arabischen Gelehrten Alkhazîni aus Jurjâniyah, einer Stadt, welche in der Provinz Khuwârazm, unweit der Einmündung des Oxus in den Aralsee gelegen war. Derselbe schrieb im Jahre 515 der Hedschra (1121) ein Buch von der Waage der Weisheit, von welchem der russische Generalkonsul Khanikoff im Jahre 1857 für die American Oriental Society einen Auszug in französischer Sprache anfertigte, der dann englisch unter dem Titel: N. Khanikoff: Analysis and Extracts of „Book of the balance of wisdom" etc. im Journal of the Americ. Orient. Soc. VI. p. 1—128 veröffentlicht wurde.

Nicolai Wladimirowitsch Khanikoff, geb. am 11. Nov. 1819 im Gouvernement Kaluga, gest. am 15. Dez. 1878 in Rambouillet.

Die Waage erhielt von ihrem Verfertiger wegen ihrer vorzüglichen Eigenschaften den merkwürdigen Beinamen: Waage der Weisheit. Sie bestand aus einem gleicharmigen Hebel, der aber nicht zwei, sondern fünf Schalen trug. Alkhazîni rühmt ihre Vorzüge und giebt genaue Vorschriften für ihre Konstruktion und Anwendung, welch' letztere sich namentlich für die Bestimmung des spezifischen Gewichtes eignet, das er mit ihrer Hülfe, wie eine fünfzig Substanzen führende Tabelle zeigt, sehr genau ermittelte. — Die Wichtigkeit der Waage für chemische Arbeiten erkannte und betonte zuerst van Helmont. Die Theorie der gleicharmigen Hebelwaage hat zuerst L. Euler in den Comment. Acad. Petrop. Tom X entwickelt. Als historisch interessant ist das Werk von J. Leupold: Theatrum staticum d. i. Schauplatz der Gewichtkunst und Waagen, Leipzig 1726, zu nennen.

J. Leupold 1674—1727.

Jakob Leupold wurde am 25. Juli 1674 in Planitz bei Zwickau geboren. Er war Mechaniker und Lazarethverwalter in Leipzig, zuletzt sächsischer Rath und Bergkommissar und starb am 12. Januar 1727 in Leipzig.

Lavoisier bediente sich der Waage unter Anderem auch, um die Gewichtszunahme eines Körpers bei der Verbrennung festzustellen (zu vergl. Bd. I, p. 928). In den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts konstruirte der Schwede Gahn Waagen für chemische Zwecke.

Ueber die „Berichtigung der Schneiden einer Waage" schrieb Gauss in den Göttinger gelehrten Anzeigen 1837, 13. März (abgedruckt in den Werken von Gauss Bd. V, p. 511). Von Schriften über Waagen und Wägung sind namentlich folgende von Bedeutung:

G. F. Becker: Ueber die Reduktion der Wägungen auf den luftleeren Raum bei der chemischen Analyse. Liebig's Annalen der Chemie und Pharm. 1879, Bd. 195, p. 222 ff.

Ernst Brauer: Die Konstruktion der Waage nach wissenschaftlichen Grundsätzen und nach Maassgabe ihres Spezialzweckes, mit Atlas von 20 Foliotafeln. Weimar, B. F. Voigt, 1880.

E. Brauer: Axenkorrektion und Kompensationsgehänge von F. Sartorius in Göttingen. Zeitschrift f. Instrumentenk. 2. Jahrg., 1882, p. 385 ff.

Dittmar: Ueber die Waage des Chemikers, Zeitschrift f. Instrumentenk. 1. Jahrg., 1881, p. 313 ff.

D. **Mendelejeff**: Ueber die Methoden genauer oder metrologischer Wägungen. Zeitschrift der Hauptprüfungsanstalt für Maasse und Gewichte, St. Petersburg 1896, (Beilage zum Journal der russischen physikal. Gesellschaft 29), Ref. Beibl. zu den Annal. der Phys. und Chemie 1897, Bd. 21, p. 619.

P. **Schottländer**: Ueber Reduktion von Wägungen auf den luftleeren Raum. Zeitschrift f. physikal. Chem. 1895, Bd. 16, p. 458.

G. **Schwirkus**: Ueber Wägungen, Waagen und Gewichte. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1. Jahrg. 1881. p. 84 ff. Fortsetzung II. Jahrg. 1882, p. 310 ff.

Derselbe: Ueber den Bau und Gebrauch wissenschaftlicher Waagen. Daselbst 7. Jahrg. 1887, p. 83 ff., Fortsetzung p. 412 ff. Der Schluss der Abhandlung scheint nicht erschienen zu sein.

Thiesen: Zur Theorie der Waage und Wägung, Zeitschrift f. Instrumentenkunde. 2. Jahrg., 1882, p. 358 ff., Fortsetzung 3. Jahrg., 1883, p. 81 ff.

Derselbe: Etudes sur la Balance. Trav. du Bureau int. des poids et mes. V. 2.

B. **Weinstein**: Einrichtung und Theorie der Waage im Handbuch der physikal. Maassbestimmungen, Berlin, Springer, 1888, Bd. 2, p. 367—490.

2. Die Brückenwaage.

Im gewöhnlichen Leben ereignet es sich täglich, dass man grössere Lasten abwägen muss. Zu diesem Zwecke bedient man sich einer zusammengesetzten transportabelen Hebelwaage, der sogenannten **Brückenwaage**, deren Lastschale durch zwei (oder mehr) Axen gestützt wird, welche nicht in derselben Ebene liegen. Die Brückenwaage ist derartig eingerichtet, dass man grosse Lasten mit kleinen Gewichten abwägen kann. Die Konstruktion ist aus Fig. 252 ersichtlich. Der Hebel AD besteht aus zwei ungleich langen Armen AC und CD und hat seinen Unterstützungspunkt auf einer Schneide in C. In D ist eine Stange Dd angebracht, welche in d den horizontalen einarmigen Hebel dd' trägt. Dieser ruht in d' auf einer Schneide und trägt bei $b_{,,}$ eine zweite Schneide für den ebenfalls einarmigen Hebel $b\,b_{,,}$ welcher Brücke oder Tafel heisst und von der Stange bB getragen wird, die ihrerseits in B an dem Hebel AD eingelenkt ist. Auf die Brücke, gleichgültig an welche Stelle, bringt man den zu wägenden Körper Q. In A hängt die zur Aufnahme der Gewichte P dienende Schale.

Denkt man sich die Last Q als die Summe von zwei Kräften $q+q'$, von denen q durch die Vermittelung der Stange Bb in B am Hebel AD einen Zug, q' in $b,$ auf dd' einen Druck ausübt, der sich mittels der Verbindung dD an dem Hebel AD in D wiederum als Zug z äussert, so hat man $Q = q + q'$ und für den Gleichgewichtszustand:

$$P . AC = z . CD + q . CB.$$

Es ist aber $z . dd' = q' . b_{,,} d'$, folglich

$$z = \frac{b_{,,} d'}{d d'} \cdot q'.$$

Konstruirt man nun die Hebel dd' und AD in der Art, dass sich verhält

$$CB : CD = b_{,,} d' : d d',$$

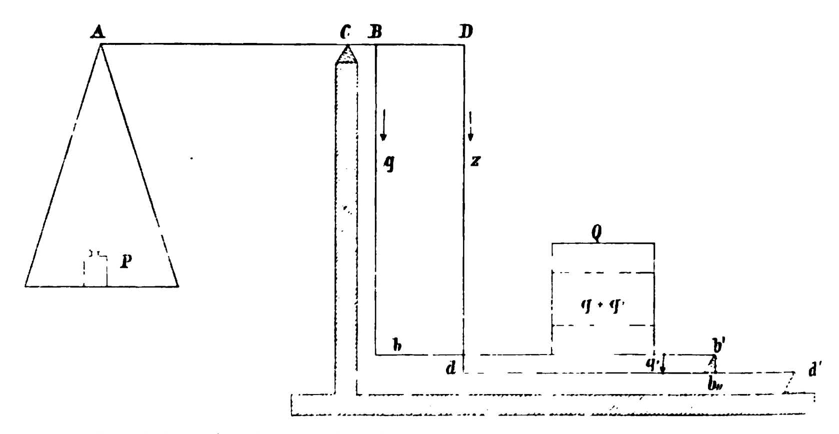


Fig. 252. Einrichtung einer Brückenwaage. Bezeichnungen im Text.

so ist, bei einer Belastung der Waagschale, der Weg, den b und b' beschreiben, der nämliche, und es bleibt $b b$, daher parallel zu sich selbst. Ausserdem ist dann

$$z = \frac{CB}{CD} \cdot q'.$$

Führt man diesen Ausdruck in die erste Gleichung ein, so erhält man:

$$\begin{aligned} P . AC &= \frac{CB}{CD} \cdot q' . CD + q . CB \\ &= CB . q' + q . CB \\ &= (q + q') CB \\ &= Q . CB. \end{aligned}$$

Die Wirkungsweise ist also dieselbe, als wenn die ganze Last Q in dem Punkte B angreifen würde.

Aus $P . AC = Q . CB$ folgt

$$P : Q = CB : AC.$$

Wählt man, wie dies bei der Decimalwaage der Fall ist, $CB : AC = 1 : 10$, so ist

$$P = \frac{1}{10} Q;$$

wählt man, wie das bei der Centesimalwaage Statt hat,

$$CB : AC = 1 : 100, \text{ so ist}$$

$$P = \frac{1}{100} Q,$$

d. h. ein zehn-, beziehungsweise hundertmal kleineres Gewicht hält der Last Q das Gleichgewicht.

Der äussere Bau der Brückenwaage ist aus der Fig. 253, die keiner weiteren Beschreibung bedarf, ersichtlich. Es soll nur noch bemerkt werden, dass der Waagebalken durch Verschiebung des Handgriffes *h* arretirt und freigegeben werden kann, und dass die Doppelzunge *z* zur Prüfung der horizontalen Lage des Balkens

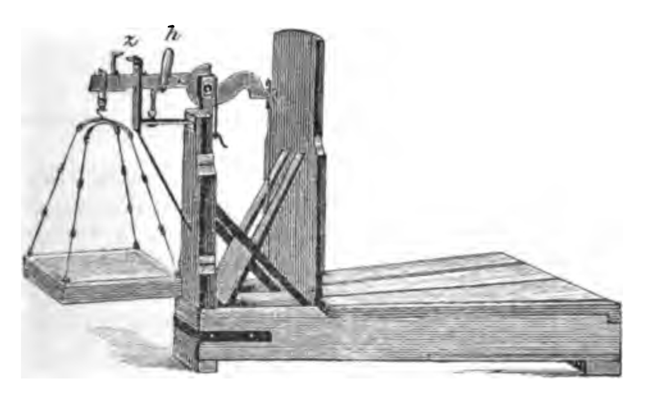


Fig. 253. **Brückenwaage;** *h* Arretirung, *z* Doppelzunge.

dient. Ein Laufgewicht (in der Figur nicht gezeichnet), welches sich an jeder Stelle des Balkens mit Hülfe einer Schraube festhalten lässt, dient zur Einstellung der unbelasteten Waage. Ein Senkel (in der Figur nicht sichtbar) bezweckt die Horizontalstellung des ganzen Gestells.

Historisches über die Brückenwaage.

Es wird vielfach angegeben (zu vergl. Rosenberger: Geschichte der Physik. Braunschweig, Vieweg 1890, T. 3, p. 97), dass der Verfertiger der Uhr des Strassburger Münsters, namens Jean Baptiste Schwilgué, der Erfinder der Brückenwaage in heutiger Gestalt sei. Aus den Strassburger Akten ist ersichtlich, dass Coelestin Quintenz der Erfinder ist. Derselbe verfertigte Brückenwaagen, mit denen bei den Strassburger Pferderennen Reiter und Sättel gewogen wurden. Nach den Akten vom 22. August 1822 (Préfecture du Bas-Rhin Reg. gén. 585) erhielt Quintenz auf seine Erfindung ein Patent. Die Arretirung durch Aufhebung des Waagebalkens und gleichzeitiger Senkung des Mittellagers, die sich bis heute erhalten hat, führte J. F. H. Rolle ein, welcher nach dem Tode von Quintenz durch Zahlung einer ver-

einbarten Summe an die Quintenz'schen Erben das Patent erwarb. — Schwilgué kam 1827 nach Strassburg und wurde Theilhaber von Rolle's mechanischer Werkstätte, in der dann viele Brückenwaagen gebaut wurden. —

C. Quintenz 1774–1822.

Coelestin Quintenz, über dessen Leben die Geschichte der Mechanik und Physik bisher Stillschweigen bewahrte, wurde 1774 in Gengenbach (Baden) als Sohn von Franz Quintenz und Marie Scheurer geboren. Er war Priester in der Abtei Allerheiligen und wurde dann Mechaniker in Strassburg. Das badische Bezirksamt Kork liess ihm im Jahre 1817 durch die Strassburger Mairie ein Lehramt für Mathematik und französische Sprache am Lyceum in Rastatt anbieten. Quintenz folgte diesem Anerbieten jedoch nicht. Er starb plötzlich am 28. April 1822 in Strassburg.

Johann Friedrich Heinrich Rolle (Rollé) stammt aus Saarbrücken, war Hauptagent der französischen Salzregie und begründete später eine mechanische Werkstätte. Bevor Schwilgué sich an diesem Unternehmen betheiligte, war er 29 Jahre lang Lehrer der Mathematik und Vorsteher des Bezirksamtes in Schlettstadt. Er wurde am 18. Dezember 1776 in Strassburg geboren und starb daselbst am 4. Dezember 1856. Näheres über Schwilgué findet man in der von seinem Sohne Charles Schwilgué verfassten „Notice sur la vie, les travaux et les ouvrages de mon père J. B. Schwilgué 2. édit. Strasbourg 1858, (Collection Gérard der Mülhauser Stadtbibliothek Nr. 2981). Die auf dem Strassburger Stadtarchiv aufbewahrten Akten geben viel Interessantes in der vorstehenden Angelegenheit.

J. B. Schwilgué 1776–1856.

Ueber die Theorie der Brückenwaage schrieben u. a. Mohr in Dingler's polyt. Journal 1840, Bd. 78, p. 195 und Schönemann in den Denkschriften der Ksl. Akad. d. Wiss. zu Wien 1853, Bd. 5, mathem.-naturw. Kl. p. 157 (Mathem. Betrachtungen über die Empfindlichkeit).

Th. Schönemann 1812–1868.

Theodor Schönemann wurde am 4. April 1812 in Driesen (Neumark) geboren. Er war Professor der Mathematik in Brandenburg a. d. H. und starb am 16. Januar 1868 daselbst.

Roberval's Parallelogrammwaage.

Anhangsweise mag hier der sogenannten Parallelogrammwaage von Roberval (Nouvelle manière de balance im Journ. des sçavans 10. Febr. 1670) gedacht werden, deren scheinbar paradoxe Einrichtung vom Erfinder den Mathematikern seiner Zeit als Problem vorgelegt wurde. Die Waage besteht aus vier zu einem Parallelogramm vereinigten Stäben, die in ihren Vereinigungspunkten um Zapfen beweglich sind. Die beiden Langstäbe sind in ihrem Mittelpunkte an einer Säule drehbar befestigt. Die Gewichte werden an festen Querriegeln de Kurzstäbe, eventuell mittels Schalen, angebracht. Das Seltsame der Vorrichtung liegt darin, dass die gleichen Gewichte, in ungleicher Entfernung von der Mittelsäule befindlich, doch stets im Gleichgewichte bleiben. Ueber die mechanische Erklärung dieser Waage sprach schon Brisson (Dictionn. rais. de Phys. Paris 1781 Art. Levier). Man vergl. auch das cit. Buch. von E. Brauer p. 50 u. 136.

3. Metrisches System und andere Systeme des Massenmaasses.

Die metrischen Gewichte.

Als C-G-S Einheit des Massenmaasses dient das Gramm (gr. *τὸ γϱάμμα* von *γϱάφω*, also eigentlich das Eingegrabene oder Eingeritzte). d. h. das Gewicht einer Wassermasse, welche bei $+ 4^0$ C. den Raum

von 1 ccm einnimmt. Die üblichen Bezeichnungen im metrischen System sind:

1 Milligramm	= mg =	0,001 g	
1 Centigramm	= cg =	0,01 g	
1 Decigramm	= dg =	0,1 g	
1 Gramm	= g =	1	
1 Dekagramm	=	10 g	
1 Hektogramm	=	100 g	
1 Kilogramm	= kg =	1000 g	
1 Tonne	= t =	1000 kg	= 1000000 g.

Die Kaiserl. Normal-Aichungs-Kommission bedient sich nach einer Bekanntmachung vom 25. März 1872 in ihren Veröffentlichungen der Abkürzung dkg für Dekagramm und dcg für Decigramm.

Da es sich heute noch manchmal um Vergleichung des metrischen Systems mit älteren Systemen handelt, soll hier der Hauptsache nach darauf hingewiesen werden.

Deutsches Medizinalgewicht aus älterer Zeit.

Das frühere deutsche Medizinalgewicht war folgendes:

1 Pfund = Libra = Lbr = ℔ = 12 Unzen = 350,783 g

1 Unze (lat. uncia d. i. ein Theil eines zwölftheiligen Ganzen) ℥ = 8 Drachmen = 29,232 g.

1 Drachme (gr. ἡ δραχμή ursprünglich so viel als man mit drei Fingern fassen kann, etwa eine Prise, von δράσσομαι greifen, fassen) = Dr = ʒ = 3 Scrupel = 3,654 g.

1 Scrupel (lat. scrupulum und scripulum, eigentlich ein Strich, von scribere schreiben) = Scr. = ℈ = 20 Gran = 1,218 g.

1 Gran (lat. granum das Korn) = 0,0609 g.

Ein Gran ist somit der 480. Theil einer Unze und der 5760. Theil eines Medizinalpfundes. Auf alten Rezepten findet man manchmal die Zeichen: ℥β, ℥j, ℥jj, sie bedeuten 12, 14 und 48 Scrupel. — Ein halbe Unze ist ungefähr 1 Loth, eine Drachme ungefähr 1 Quentchen des früheren bürgerlichen Gewichtes. —

Französisches Medizinalgewicht aus älterer Zeit.

Das frühere französische Apothekergewicht war:

1 Livre = 12 Onces = 367,129 g
1 Once = 8 Drachmes = 30,594 g
1 Drachme (Gros) = 3 Scrupules = 3,8249 g
1 Scrupule = 20 Grains = 1,275 g
1 Grain = 0,0637 g.

Englisches Medizinalgewicht aus älterer Zeit.

Das frühere englische Apothekergewicht, das von Heinrich VII eingeführte sogenannte Troy-Gewicht (nach der französischen Stadt Troyes benannt, wo es zuerst angewandt sein soll; nach Anderen von der, von mönchischen Schriftstellern für London gebrauchten Bezeichnung Troja nova) setzte sich folgendermaassen zusammen:

1 Pound Troy ℔ = 12 Ounces = 373,242 g
1 Ounce = ℥ = 8 Drams = 31,103 g
1 Dram = ʒ = 3 Scruples = 3,888 g
1 Scruple = ℈ = 20 grains = 1,296 g
1 Grain (Minim) = 0,0648 g.

Modernes Medizinal- und Handelsgewicht Englands.

Die Zeichen ℥i, ℥ss, ℥iss, ℥cj bedeuteten one ounce, half an ounce, one ounce and a half, two ounces. Ebenso bei den Drachmen und Scrupeln.

Das heutige Medizinal- und Handels-Gewicht der Engländer ist das von Heinrich VIII eingeführte Avoirdupois-Gewicht [vom fr. avoir du poids (altfr. pois) das (gesetzliche) Gewicht haben (im Engl. gesprochen: äerdjupeus)]. Nach der Pharmac. Brit. von 1867 ist es wie folgt beschaffen:

1 Pound (℔) = 16 ounces = 453,592 g
1 Ounce (oz) = 16 Drams = 28,349 g
1 Dram (dr) (wenig gebräuchlich) = 1,772 g
1 Grain (gr) = 0,0648 g

Ueber englische Maasssysteme giebt St. Alexander's: Inquiry into the English system of weights und measures, Oxford 1857 Aufschluss. Ueber die Reduktion englischer Maasse auf das metrische System vergleiche man G. J. Stonly Nature Vol XXIX 1883—1884, p. 278-279. Neuerdings nahm das englische Oberhaus die Bill an, nach welcher die Anwendung des metrischen Maass- und Gewichtssystems gestattet wird.

St. Alexander 1806–1883.

Stephen Alexander wurde am 1. September 1806 in Schenectady geboren. Er war Professor der Naturwissenschaften am New Jersey College in Princeton und starb am 25. Juni 1883 daselbst.

Amerikan. Apothekergewicht.

Das Amerikan. Apothekergewicht (U. S. Pharm. 1882) ist:

1 Pound = 16 ounces = 497,656 g
1 Ounce = 48 grains = 31,103 g
1 Grain = 0,0648 g.

Hinsichtlich der früher, und zum Theil noch heute gebräuchlichen Gewichte in anderen Ländern findet man Näheres in dem in Bd. I, p. 49 erwähnten Lexikon von R. Klimpert. — Ueber die antiken Gewichte handelt H. Nissen a. a. O. (zu vergl. Bd. I, p. 49). Man vergl. ferner J. H. Alexander's Universal dictionary of weights und measures, ancient und modern; Baltimore 1850. Es mag noch erwähnt werden, dass man früher in den meisten deutschen Staaten im bürgerlichen Leben und im Handel nach Pfund und Unterabtheilungen rechnete. Das alte preussische Pfund hatte 32 Loth à 4 Quentchen à $4^1/_2$ Gran. Das neue preussische Pfund (vom 1. Juli 1858) = $^1/_2$ kg, hatte 30 Loth à 10 Quentchen à 10 Cent à 10 Korn.

John Henry Alexander.

John Henry Alexander, ein Vetter des Vorigen, wurde 1812 in Annapolis geboren. Er war Professor für Bergbau und Physik, zuletzt in Baltimore und starb am 2. März 1867 daselbst.

4. Einrichtung der Gewichtssätze.

Der Gewichtssatz.

Zur Ausführung der Wägung bedarf man sogenannter Gewichtssätze, worunter man eine Anzahl Gewichtsstücke versteht, welche in bestimmten Abstufungen der Massenbeträge zusammengestellt worden sind.

Da es kaum möglich ist für jeden Massenbetrag besondere Gewichtsstücke anzufertigen, so muss der Satz in der Art aufgebaut sein, dass sich mit den, in verhältnissmässig geringer Zahl vorhandenen Stücken alle erforderlichen Beträge kombiniren lassen. Um dies zu bewerkstelligen giebt es zwei Wege. Entweder erzielt man den zur

Bestimmung des zu wägenden Körpers nöthigen Massenbetrag durch Summirung einzelner Gewichtsstücke, wobei dieselben stets auf eine Schale der Waage kommen, oder man nimmt auch die Subtraktion zu Hülfe, wobei dann die für die Wägung in Betracht kommenden Stücke auf beide Schalen vertheilt werden. — In den gewöhnlichen Gewichtssätzen des Chemikers wird die Stückelung nach dem dekadischen Zahlensystem vorgenommen, und zwar in der Weise, dass von dem kleinsten Massenbetrage Einer, Zehner und Hunderter zusammengestellt werden. Die Reihenfolge ist dabei gewöhnlich 1, 1, 2, 5 oder 1, 2, 2, 5. Gewisse Stücke sind also in dem Satze doppelt vorhanden, und eines derselben oder beide sind dann häufig durch einen Index besonders gekennzeichnet. Ein gut eingerichteter Satz für Analysenwaagen, die eine Maximalbelastung von 1000 g erlauben, enthält beispielsweise folgende, auf ihrer Oberfläche mit eingeschlagenen oder erhaben geprägten Sollbeträgen versehene Stücke:

0,001 g	0,002 g	0,002 g^1	0,005 g
0,01 g	0,02 g	0,02 g^1	0,05 g
0,1 g	0,2 g	0,2 g^1	0,5 g
1 g	2 g	2 g^1	5 g
10 g	20 g	20 g^1	50 g
100 g	200 g	200 g^1	500 g

Ueberflüssige Stücke von 1 g aufwärts sollen nicht vorhanden sein, wohl aber ist es zweckmässig, wenn der Satz, ausser den in Betracht kommenden Reitergewichten, an den kleineren und kleinsten Stücken, welche leicht verloren gehen können, einige Reserveexemplare enthält. „Ueber die vortheilhafteste Reihe von Gewichtsstücken und deren Anwendung" schrieb A. Krönig in den Ann. der Phys. und Chem. 1864, Bd. 122, p. 593 ff.

Prüfung des Gewichtssatzes.

Da man nicht immer sicher sein kann, dass die wirklichen Massen der Gewichtsstücke mit den darauf verzeichneten Sollangaben übereinstimmen, so muss jeder Satz, der zu feinen Wägungen dienen soll, vor dem Gebrauch einer Prüfung unterzogen werden. Zu diesem Zwecke vergleicht man auf der Waage, bei welcher auf eine eventuelle Ungleicharmigkeit Rücksicht zu nehmen ist, zunächst die Stücke vom grössten bis zu 1 g.

Bei der Vergleichung wählt man zuerst die doppelt vorhandenen Gewichte, legt eines derselben auf die eine, das andere auf die andere Schale und beobachtet die Einstellung der Waage. Dann kombinirt man aus den kleineren Stücken den Massenbetrag eines grösseren Stückes und verfährt ebenso. Nicht anders vollzieht sich die Vergleichung der kleinsten Stücke unter 1 g. Die Wägungen werden mittels der Schwingungsmethode ausgeführt, wobei man die Nullpunktsbeobachtung mehrere Male wiederholt. In einem brauchbaren

Gewichtssatze dürfen die Differenzen der kleineren Gewichte $^1/_{10}$ mg, die der grösseren $^3/_{10}$ mg nicht übersteigen.

Bei amtlicher Prüfung der Gewichtssätze werden dieselben mit einer Fehlertabelle versehen. —

„Ueber die Reduktion feiner Gewichtssätze und die Bestimmung der bei absoluter und relativer Gewichtsermittelung ohne Reduktion auftretenden Fehler" schrieb K. L. Bauer in den Ann. d. Phys. u. Chem. 1869, Bd. 137, p. 103 ff. und Bd. 138, p. 327 ff.

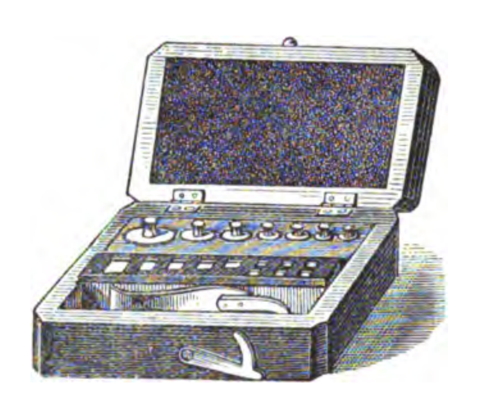


Fig. 254. Gewichtssatz für chemisch-analytische Wägungen in einem mit Sammet gefüttertem Etui von Mahagoniholz nebst Pincette mit Spitzen aus Elfenbein.

Die hauptsächlichste Bedingung, welche ein guter Gewichtssatz erfüllen muss, ist die, dass die Stücke stets die gleiche Masse behalten. Damit dies, bei der fast unvermeidlichen Abnutzung, welche die Stücke durch den Gebrauch erleiden, wenigstens für eine gewisse Zeit der Fall sei, muss man ihnen möglichst grosse Schonung angedeihen lassen.

Das Etui, in welchem der Satz aufbewahrt wird (Fig. 254), ist mit Sammet ausgekleidet; die Stücke dürfen nur mit der dem Satze beigefügten Pincette angefasst werden.

Wichtiger als der Verlust an Substanz erscheint noch ihre Zunahme, welche oft durch Staub und Oxydation in Folge von Feuchtigkeit und chemischen Verunreinigungen der umgebenden Atmosphäre hervorgebracht wird. Im Allgemeinen gilt der Satz: Häufig benutzte Stücke erleiden Substanzverlust, weniger oft gebrauchte halten sich ziemlich konstant, sehr selten beanspruchte zeigen eine Vermehrung ihrer Masse. Sorgsame Aufbewahrung, Vergoldung, Platinirung oder Vernickelung der Messinggewichte, Anfertigung der kleinen Stücke aus Gold oder Platina, und neuerdings aus Aluminium, sind Mittel, durch welche man den Gewichtssatz am besten konservirt. Gewichte aus Quarz (Bergkrystall) scheinen die dauerhaftesten zu sein, da der Satz aber äusserst kostspielig ist, hat man auch vorgeschlagen sie aus massivem Glas mit hohem Siliciumgehalt anzufertigen. (Mohr: Ueber den Stoff zu den Urmaassen und Gewichten. Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. 194, p. 48.) Für Waagen, welche zu technischem Gebrauch bestimmt sind, kommen meist eiserne Gewichte zur Anwendung. Zur

Herstellung von Normalgewichten für feine Wägungen hat A. Gawalowski eine Legirung empfohlen, welche sich durch grosse Widerstands- und Politurfähigkeit auszeichnet. Sie besteht aus 80 Theilen Aluminium, 8 Theilen Feingold, 2,5 Theilen Feinsilber, 4 Theilen Platina und besitzt eine Dichte von 5,0. Diese Gewichte sind fast noch einmal so gross als Messinggewichte und ungefähr halb so gross als die aus Quarz verfertigten. Die Empfehlung mit dem Titel: Normalgewichtssatz für feinste chemisch-analytische und physikalische Wägungen findet sich im Chem. Centralbl. II. 1891, p. 97.

5. Das Gewicht des Menschen.

In Nachstehendem geben wir einige Mittheilungen über das Körpergewicht des Menschen.

Gewicht des Erwachsenen.

	Körpergewicht des männlichen Erwachsenen in kg		
Deutsche	Sachsen 58,5—62	nach	H. Frölich (Militärmedizin, Braunschweig, Wreden 1887, p. 227).
	Mittelfranken 58,7 (Alter: 21 Jahre)	„	J. C. Majer (Aerztl. Intelligenzblatt für Bayern 1862, Bd. 9, p. 353).
	Oberbayern 63,25 (Alter: 21 Jahre)	„	Daffner (daselbst 1879, Bd. 26, p. 558).
	Hessen-Nassauer 63,074 (Alter: 18—24 Jahre)	„	F. W. Beneke (Virchow's Arch. 1881, Bd. 85, p. 177).
	Ostfriesen 65,1 (Alter: 20—23 Jahre)	„	H. Busch (Grösse, Gewicht u. Brustumfang von Soldaten, Berlin, Hirschwald 1878).
	Würtemberger 64 97 (Alter: 20—21 Jahre)	„	B. K. Fetzer (Einfluss des Militärdienstes auf die Körperentwickelung, Stuttgart, Bonz 1879, p. 22).
	Elsässer 60,5 (Alter: 20—22 Jahre)	„	Griesbach.
Engländer	58	„	W. Aitken (The growth of the recruit and young soldier, London, Macmillan 1862).
Belgier	60—70	„	Quetelet (Anthropométrie 1870, p. 357).
Franzosen	64,9	„	Topinard (Anthropologie, Deutsch von R. Neuhauss, Leipzig, Frohberg 1888, p. 400).
Rumänien	58,4	„	Topinard (p. 400).
Indianer	73,8	„	Topinard (p. 400).
Hindus	48,7	„	Topinard (p. 400).
Volksstämme Centralafrikas (Baluba)	52—55	„	Ludw. Wolf (Zeitschr. f. Ethnologie 1886, Bd. 18, p. 729).

Im Mittel beträgt das Körpergewicht des Erwachsenen im männlichen Geschlecht 65 kg, im weiblichen Geschlecht 53 kg. Je nach Knochen- und Muskelbau, nach Magerkeit oder Fettleibigkeit, nach der Nahrungs- und Lebensweise kommen nicht unbeträchtliche Schwankungen vor.

Gewicht des Neugeborenen.

Das Körpergewicht des Neugeborenen beträgt in Mitteleuropa für das männliche Geschlecht 3333 g, für das weibliche Geschlecht 3200 g im Mittel. Kinder Erstgebärender sind im Mittel um 141 g leichter als die Mehrgebärender.

Das Durchschnittsgewicht der Knaben bei Zwillingsgeburten ist 2554 g, das der Mädchen unter denselben Umständen beträgt 2425 g. In den ersten Lebenstagen nimmt das Gewicht des Neugeborenen bis zu 5 % des Anfangsgewichtes ab; vom dritten Tage an steigt es wieder, um etwa am zehnten Tage gleich dem Anfangsgewichte zu werden. Bei der Abnabelung tritt wiederum ein Gewichtsverlust hervor, bei später Abnabelung ist dieser Verlust um etwa 1% geringer als bei früher Abnabelung.

In den ersten 12 Lebensmonaten gestaltet sich das Körpergewicht des Menschen nach Ludw. Fleischmann (Ueber Ernährung und Körperwägungen der Neugeborenen und Säuglinge, Wien: Urban und Schwarzenberg, 1877) wie folgt:

Körpergewicht in den ersten 12 Lebensmonaten

	Gewicht in Grammen	Tägl. Zunahme in Grammen
Neugeborenes	3500	—
1. Monat	4550	35
2. „	5500	32
3. „	6350	28
4. „	7000	22
5. „	7550	18
6. „	7970	14
7. „	8330	12
8. „	8630	10
9. „	8930	10
10. „	9200	9
11. „	9450	8
12. „	9600	6

Schmid-Monnard (Jahrbuch für Kinderheilkunde u. physische Erziehung 1892, N. F. Bd. 33, p. 346) hat bei Kindern im Alter von 1 bis 30 Monaten Gewicht, Grösse und Brustumfang bestimmt und folgende Resultate erhalten:

Nackt-Gewicht, Länge und Brustumfang von Kindern im Alter von 1 bis 30 Monaten in Frankfurt a. M. nach Schmid-Monnard (Mittelwerthe)

	823 Knaben			736 Mädchen		
Alter in Monat.	Gewicht in g	Grösse in cm	Brustumfang in cm	Gewicht in g	Grösse in cm	Brustumfang in cm
1	3 451	50,6	31,8	3 219	50,1	31,4
2	4 108	54,1	35,0	4 002	53,8	34 5
3	4 840	55,6	36,6	4 792	57,5	36,2
4	5 670	59,9	39,0	5 409	59,3	37,5

Nackt-Gewicht, Länge und Brustumfang von Kindern im Alter von 1 bis 30 Monaten in Frankfurt a. M. nach Schmid-Monnard (Mittelwerthe)

	823 Knaben			736 Mädchen		
Alter in Monat.	Gewicht in g	Grösse in cm	Brustumfang in cm	Gewicht in g	Grösse in cm	Brustumfang in cm
5	5 868	60,5	37,7	5 866	61,0	38,8
6	6 802	63,0	40,3	6 426	62,2	38,9
7	7 017	64,4	40,2	6 855	64,0	39,8
8	7 152	66,1	42,3	6 936	64,9	39,8
9	7 579	67,4	41,5	7 396	66,9	40,4
10	8 312	65,9	42,2	7 527	67,0	41,0
11	8 412	69,6	42,6	7 588	67,0	41,0
12	8 588	71,0	43,2	7 756	68,1	41,1
13	8 479	70,7	43,0	8 277	71,8	42,3
14	8 897	72,2	43,7	8 350	70,9	42,3
15	8 825	73,0	43,7	8 200	70,5	42,3
16	9 414	74,1	44 0	8 807	72,5	43,3
17	9 810	76,0	45,0	9 164	73,8	43,6
18	9 650	74,6	45,0	9 219	74,1	44,2
19	9 818	76,1	45,2	9 247	73,8	44,1
20	9 973	77,5	46,1	9 084	74,6	43,5
21	9 911	75,7	44,9	9 261	75,2	43,3
22	10 344	78,2	45,4	9 887	77,7	45,2
23	10 299	78,1	45,0	9 700	77,0	45,1
24	10 547	78,8	45,5	10 106	79,5	45,5
25	10 542	80,0	46,9	10 058	79,2	45,0
26	11 153	81,6	47,1	10 336	80,4	45,9
27	11 100	80,0	47,2	10 508	80,0	45,7
28	11 000	82,0	46,0	10 150	80,0	44,8
29	11 150	82,5	46,3	10 100	83,5	46,1
30	11 407	83,7	47,1	10 829	83,4	47,1

In den einzelnen Lebensjahren findet man das Körpergewicht (Kleider abgerechnet) in Kilogrammen wie folgt:

Körpergewichte in den einzelnen Lebensjahren

Alter in Jahren	Männlich	Weiblich
Neugeborenes	3,2	2,9
0—1	9,4	8,7
2	11,3	10,7
3	12,5	11,8
4	14,2	13,0
5	15,8	14,4
6	17,8	16,7
7	20,5	20,7
8	22,8	21,6
9	26,2	25,0
10	29,3	26,9
11	30,3	29,4
12	32,2	31,9
13	34,5	35,9
14	37,6	39,6
15	42,3	40,4
16	46,8	48,9
17	52,3	51,6
18	57,6	54,6
19	61,3	56,3
20	63,3	54,4
21	65,2	57,7
22	62,9	54,8
23	64,5	55,2
25	62,9	53,3
27	65,9	55,1
30	63,6	54,3
40	63,67	55,2
50	63,5	56,16
60	61,9	54,3
70	59,5	51,5
80	57,8	47,4
90	57,8	49,3

Ueber das absolute Gewicht (in Grammen) einiger Organe im wachsenden Körper giebt H. Vierordt (Archiv für Anatomie und Physiologie, Anatom. Abthlg. Supplb. 1890, p. 62) folgende Zusammenstellung:

Alter	Gehirn		Herz		r. Lunge		l. Lunge		Leber		Nieren		Milz	
	m.	w.	m.	w.	m.	w.	m.	w.	m.	w.	m.	w.	m.	w.
0 Mon.	381	384,2	23,6	24	30,2	31,9	23,9	23,4	141,7	164	23,3	23,1	10,6	10,8
1	463,8	402,9	17,2	15,2	26	—	27,5	—	100,5	108,8	26	22,5	10	21,5
2. 3	548,9	527,4	17,1	17,2	—	30	—	29	132,3	122,5	30,1	35,2	11	14,5
4. 5. 6	632,4	575,4	22,6	21,4	42,3	44	45	35	148,7	161,7	44,1	38,3	13,5	11,3
7. 8. 9	740	771,4	29,4	27,5	62,3	55	53	38,5	219,2	220,8	46,7	50,8	16,5	19
10. 11	—	693,3	33,74	33,3	102,8	—	—	44	404	239	53,1	61,6	—	28
1 Jahr	944,7	872	41,2	32,8	83	73,6	73,6	74,5	333,5	275,5	72,8	57,7	20,3	20,5
1¼	782	878,8	44,4	—	—	—	—	—	—	—	54,5	—	—	—
1½	1019,7	889,8	47,5	42,3	—	—	—	—	333,5	357,3	72,8	75,7	30,5	31
1¾	1078	960,7	46,5	—	—	—	—	—	412	—	80,5	—	31	—
2	1025,4	960,7	51,9	51,3	101,5	106,5	82,1	87	428,2	417,5	90,6	92,1	43,2	38,6
2½	1159,5	1060,8	53,3	59,3	137	106,3	—	87,8	—	473,3	121,4	88,6	—	31,1
3	1108,1	1040,2	64,8	59,7	138,3	131,3	118,1	114	484,7	445	102,1	99.3	45,9	42,2
3½	1249,5	1080,7	57,7	57,1	—	170,1	—	—	—	417,2	100,8	92,9	—	—
4	1330,1	1138,7	74,1	69,0	156,5	147,5	147,4	123,6	588,5	555	107,7	115,4	52,9	50,9
5	1263,4	1220,9	81	80,3	130	180	110,6	137	538,8	566,3	114,6	104	57,2	47,9

Alter	Gehirn		Herz		r. Lunge		l. Lunge		Leber		Nieren		Milz	
	m.	w.	m.	w.	m.	w.	m.	w.	m.	w.	m.	w.	m.	w.
6	1359,1	1264,5	84,9	89,2	—	186,7	—	176,7	614,8	642	106,8	129,3	60	53,5
7	1348,4	1295,8	93,3	81,4	189,9	224,7	172	168	688	680,6	128,3	133,6	62,6	59,1
8	1377,6	1150,1	95	106	—	210	—	170	650	734	126,8	128,5	62,5	65
9	1425	1242,6	108,3	123,3	190	186,7	167,6	185	701,7	795	156	133,3	67,5	67,5
10	1408,3	1284,2	127,7	120	226,3	270	250,5	260	836,7	880	160,8	160	87,8	85
11	1359,9	1238	140,9	114,4	236,4	200	229,4	290	870,4	902,5	171,5	150	71.3	87,5
12	1415,6	1245,2	—	110	240	329,5	175	297,7	880	807,9	157,5	204,8	70	127,6
13	1486,5	1255,9	164	142,5	249,9	220	208,8	—	1036	810	212,9	175	86	67,5
14	1289	1345	216,1	173,8	414,6	300	283,5	207,5	1188,7	1025	233,7	190	70	—
15	1490,2	1238,1	199,4	250,1	382,6	353,3	367,7	330,8	1306	1420	239,7	235	145,0	121,7
16	1435,1	1272,8	229,4	264,3	419,5	332,5	327,8	343,1	1339,2	1841	247,7	253,4	153,7	118,2
17	1409,2	1236,7	250,9	334,4	429,9	391	343	312,2	1481,5	1435,7	274,9	277	145,6	129,1
18	1421	1324,6	243,1	233,6	485	369,1	382	308,3	1509,6	1478	271,6	281,1	176.2	134 4
19	1397,2	1233,7	293,1	264,1	533,8	469,4	456,7	374,4	1644,6	1459,7	273,9	268,5	166,0	136,9
20	1444,5	1228,4	305,3	242,5	513,6	437,7	448,9	365,4	1560,8	1568,4	296,4	257,8	186,2	145,6
21	1412,1	1319,7	297,1	250,6	486,5	486,9	457,4	416,6	1626,9	1568,9	323,5	281,2	168,1	135,4
22	1348,3	1282,6	312,5	251,6	526,2	413,9	472,1	350,2	1675	1443,4	306,9	247	148,7	133,2
23	1397,3	1277,5	292,9	258,5	510	473,3	436	373,6	1528,3	1514,8	281,8	275,3	153,7	141,9
24	1423,9	1248,6	308,8	284,1	524,4	462,9	437,4	422	1847,7	1756,6	289,5	302,9	177,4	142,1
25	1430,9	1224,3	300,6	260,7	512,6	458,2	482,3	416,9	1819	1664	305,9	291,4	163	173,3

Dreiunddreissigstes Kapitel.

Messung der Dichte oder Bestimmung des spezifischen Gewichtes.

Da an demselben Erdenorte das Verhältniss von Masse und Gewicht für alle Körper dasselbe ist, so trifft dies auch für ihre Dichte und ihr spezifisches Gewicht zu.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes ist eine wichtige Aufgabe des Naturforschers; denn manchmal lässt sich nur durch sie die Reinheit und Güte eines Stoffes erkennen. Die zahlreichen gebräuchlichen Methoden stimmen alle darin überein, dass man vom gleichen Volumen des in Frage kommenden Körpers und des Wassers, beziehungsweise der Luft oder des Wasserstoffgases das absolute Gewicht ermittelt und dann den Quotienten aus den erhaltenen Werthen berechnet.

Wegen der Beziehung, welche zwischen der Dichte und dem Volumen besteht, ist es bei der Ausmittelung des spezifischen Gewichtes ein unbedingtes Erforderniss, auf die Temperatur Rücksicht zu nehmen. Das absolute Gewicht der Körper bleibt zwar bei Zufuhr von Wärme dasselbe, allein das spezifische Gewicht ändert sich in dem Maasse, als das Volumen sich vermehrt oder vermindert. Das spezifische Gewicht ist im Allgemeinen um so niedriger je höher die Temperatur, und um so höher je niedriger diese ist. Für Körper aller Aggregatzustände gilt daher folgendes Gesetz: *Das spezifische Gewicht verhält sich umgekehrt proportional den durch Temperaturwechsel bedingten Volumveränderungen.*

Bei Körpern des luftförmigen Aggregatzustandes gilt dies nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom *Drucke*, dessen Veränderung bei ihnen ebenfalls eine Verminderung oder Vermehrung des Volumens und dadurch eine Verschiedenheit in dem spezifischen Gewichte hervorbringt. Bei der Bestimmung des letzteren muss daher, wenn es sich um feste und flüssige Körper handelt auf die Temperatur, bei luftförmigen Körpern auf diese und den Druck Rücksicht genommen werden. Da die Volumveränderungen fester und flüssiger Körper

mit der Temperatur nur verhältnissmässig gering sind, so erfolgt bei ihnen die Rücksichtnahme auf diese in Gestalt einer Korrektion (zu vergl. Kapitel 30).

Bei den festen Metallen genügt es meistens nicht für das spezifische Gewicht nur eine einzige Zahl anzugeben, weil dasselbe, je nach der technischen Zubereitung des Metalles verschieden ist. Gussmetall ist am wenigsten dicht, gewalztes oder gezogenes Metall besitzt eine grössere Dichte, gehämmertes Metall ist am dichtesten.

G. Hennig hat durch seine „Untersuchungen über die Homogenität von Messing, Zink, Kupfer und Eisen" in den Ann. der Phys. und Chemie 1886, Bd. 27, p. 321 ff. überdies nachgewiesen, dass die Dichte dieser Körper an verschiedenen Stellen verschieden ist.

I. Bestimmungsmethoden für feste Körper.

A. Bestimmung des spezifischen Gewichtes mittels der Waage.

Die hydrostatische Waage und ihre Verwendung zur Bestimmung des spez. Gewichtes.

Die Bestimmung wird mit Hülfe der sogenannten hydrostatischen Waage ausgeführt. Als solche lässt sich jede feinere Waage

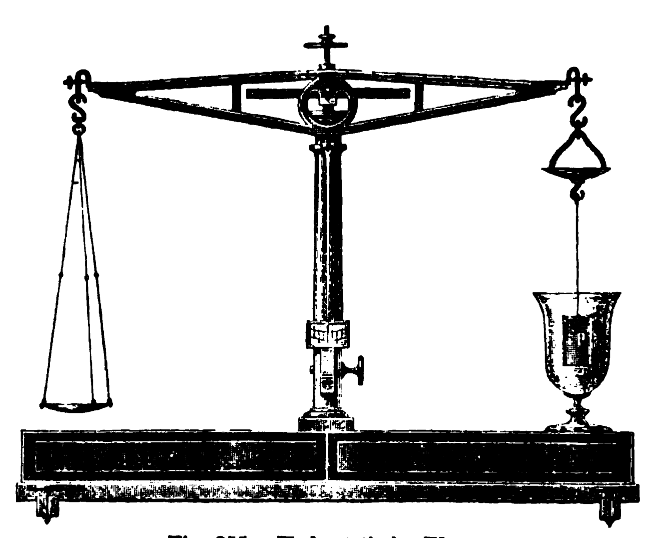


Fig. 255. Hydrostatische Waage.

gebrauchen, falls eine der gewöhnlich Verwendung findenden Schalen durch eine kürzere, an der Unterfläche mit einem Haken versehene Schale ersetzt werden kann, wie Fig. 255 zeigt.

Man bestimmt zunächst mittels der im Gleichgewicht befindlichen Waage das absolute Gewicht P des Körpers. Darauf hängt man ihn

mit Hülfe eines Haares oder eines feinen Drahtes aus Edelmetall an die kürzere Schale in der Art, dass er in ausgekochtem chemisch reinem Wasser von der Lufttemperatur völlig untertaucht (vergl. Fig. 255 *p*). Da er dabei nach dem Archimedischen Prinzip an Gewicht verliert, so ist es erforderlich durch Auflegen von Gewichten auf die kürzere Schale das Gleichgewicht der Waage wieder herzustellen. Durch das Zulagegewicht P′ wird das Gewicht der verdrängten Wassermenge ausgedrückt, welche mit dem zu untersuchenden Körper bei der nämlichen Temperatur gleiches Volumen besitzt. Es ist somit das spezifische Gewicht des Körpers bei der Temperatur t gleich $\frac{P}{P'}$.

Bei feinen Bestimmungen muss das Gewicht des Aufhängematerials in Rechnung gezogen werden. Der Gewichtsverlust, den der in das Wasser eintauchende Abschnitt desselben erleidet, bringt nur kleine Fehler hervor. Wichtig ist es das Augenmerk auf kleine Luftblasen zu lenken, welche dem zu untersuchenden Körper oder dessen Aufhängevorrichtung im Wasser anhaften können. Dieselben müssen mit einem Pinsel oder auf andere Weise entfernt werden.

Beispiel: Das absolute Gewicht eines Stückes Blei sammt dem des zum Aufhängen erforderlichen Drahtes wurde gefunden zu 30,758 g; das des Drahtes allein betrug 0,049 g. Das Gewicht desselben Bleistückes, als es mit einem Theil des Drahtes unter Wasser tauchte, belief sich auf 28,009 g.

Dann ist $P = 30{,}758 - 0{,}049 = 30{,}709$ und $P' = 30{,}709 - 28{,}009 = 2{,}7$.

Mithin ist das spezifische Gewicht vom Blei bei der Temperater t:

$$\frac{P}{P'} = \frac{30{,}709}{2{,}7} = 11{,}37$$

Falls der zur Untersuchung gelangende Körper leichter als Wasser ist, befestigt man ihn an einem Metallstück, dessen Gewicht in Luft und Wasser bekannt ist und bestimmt den gesammten Gewichtsverlust im Wasser. Nach Subtraktion des Gewichtsverlustes, den das Metall allein erleidet, ergiebt sich der des fraglichen Körpers. Bei pulverförmigen Stoffen bedient man sich eines kleinen Eimers aus Porzellan oder Metall, von dem man die erforderlichen Bedingungen kennt. Darauf wird der Gesammtgewichtsverlust des Behälters und der hineingeschütteten Substanz bestimmt und das spezifische Gewicht berechnet. Luft, welche von dem Pulver festgehalten wird, entfernt man am besten durch vorsichtiges Umrühren des letzteren mit einem Metall- oder Glasstab.

Wenn der zu untersuchende Körper porös ist, so schlägt J. Joly vor ihn in Paraffin einzuschmelzen. Wenn er in Wasser löslich ist, so muss man andere Flüssigkeiten wählen, beispielsweise Alkohol, Terpentinöl, Schwefelkohlenstoff, Benzol etc. Das gefundene Resultat wird dann mit dem spezifischen Gewichte der verwendeten Flüssigkeit multiplizirt.

Man lese: J. Joly: On a hydrostatic balance. Phil. Mag. 1888, Vol. 26, p. 266.
Derselbe: On a method of determining the specific gravity of small quantities of dense or porous bodies. Phil. Mag. 1888, Vol. 26, p. 29.
Ueber die Geschichte der hydrostatischen Waage schrieb Berthelot in den Annales de Chim. et de Phys. 1891, 6. Sér., T. 23, p. 475.

Nicholson's Aräometer zur Bestimmung des spez. Gewichtes.

B. Bestimmung des spezifischen Gewichtes mittels des Nicholson'schen Aräometers (gr. ἀραιός dünn, also eigentlich Werkzeug zur Messung der Dünnigkeit).

Dasselbe besteht aus einem hohlen, beiderseits geschlossenen Cylinder B Fig. 256a und b aus Metallblech, der an seinem oberen Ende g mit Hülfe eines Stieles einen Teller A trägt. An das untere Ende ist eine mit einer Bleikugel versehene Schale (Fig. 256 b) oder ein mit Blei beschwertes Eimerchen (Fig. 256 a C) befestigt. Dieser Ballast dient dazu den hohlen Cylinder im Wasser senkrecht schwimmen zu lassen. Das Gewicht des Apparates ist so gewählt, dass beim Schwimmen eine an dem Stäbchen befindliche Marke (o Fig. 256 b) noch aus dem Wasser hervorragt. Durch Belastung des Tellers mittels eines bestimmten Gewichtes G lässt sich das Einsinken bis zur Marke bewerkstelligen. Legt man aber den zu untersuchenden Körper auf den Teller, so ist, damit das Instrument bis zur Marke o einsinke, noch ein Zulagegewicht g erforderlich, vorausgesetzt, dass der Körper an und für sich nicht zu schwer ist. Das absolute Gewicht desselben wird dann durch $G—g$ ausgedrückt. Nach dieser Bestimmmung überträgt man den Körper in die Schale oder das Eimerchen, welche für solche Substanzen, die leichter als Wasser sind, noch ein zurückschlagbares Drahtnetz m (Fig 256 a) besitzen, und taucht das Instrument wiederum in das Wasser. Der Gewichtsverlust des zu untersuchenden Körpers im Wasser macht es nun erforderlich, dass man g noch um ein Zulagegewicht g^1 vermehren muss, damit das Aräometer wieder bis o eintaucht. Das spezifische Gewicht des fraglichen Körpers wird dann ausgedrückt durch $\frac{G-g}{g^1}$.

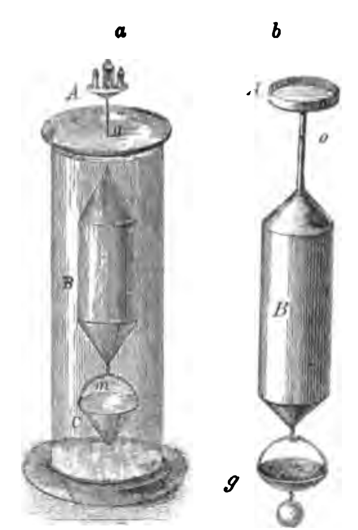


Fig. 256 a und b. Nicholson's Aräometer. Bezeichnung im Text.

Die Nicholson'schen Aräometer werden vom Glaskünstler auch ganz aus

Glas angefertigt; als Beschwerung zum Aufrechtschwimmen dient dabei Quecksilber, das in einer am unteren Ende befindliche Kugel eingeschmolzen wird.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes fester Körper mittels des Aräometers macht auf grosse Genauigkeit keinen Anspruch. Im Laboratorium wird man sich meistens einer anderen Methode bedienen; auf Reisen dagegen ist das Instrument wegen seiner handlichen Form ganz praktisch, beispielsweise zur Ausmittelung des spezifischen Gewichtes von Mineralien. Ein neues Gewichtsaräometer beschrieb Th. Lohnstein in der Zeitschrift f. Instrumentenk. 1874, Jahrg. 14, p. 164 ff.

C. Bestimmung des spezifischen Gewichtes mittels des Gravimeters (lat. gravis schwer).

Das Gravimeter zur Bestimmung des spez. Gewichtes.

Es soll hier in Kürze noch auf ein Instrument, das sogenannte Gravimeter, hingewiesen werden, welches die Konstruktion eines Gewichtsaräometers mit der Einrichtung der später zu beschreibenden Skalenaräometer in sich vereinigt. Bei dem Gebrauch misst man das eingetauchte Volumen bei verschiedener Belastung des Instrumentes. Sein Bau ist dem der Nicholson-schen Senkwaage ähnlich. Der Hals ist mit einer Skala versehen, die bei der Bestimmung des spezifischen Gewichtes fester Körper in der Weise benutzt wird, dass man, statt Gewicht und Gewichtsverlust des zu untersuchenden Körpers durch Gewichtsstücke auszugleichen, an ihr die Differenzen der Einsenkungsvolumina abliest, welche durch Uebertragung des Körpers zuerst in das obere und hierauf in das untere Schälchen, hervorgebracht werden. Wenn der Hals cylindrisch ist und die Skalenintervalle gleich sind, so giebt die Division der dem absoluten Gewichte des Körpers und dessen Gewichtsverluste entsprechenden Einsenkungsdifferenzen sofort das spezifische Gewicht. Ein derartiges Instrument konstruirte zuerst Bustamente, die Beschreibung erfolgte nach seinem Tode unter dem Titel: „Description and use of a new Gravimeter" im Edinburgh Journal of Science Vol. X. 1829. p. 207.

Don José Maria Bustamente, geb. 1789 in Guanajuato (Mexico), Naturforscher und Privatgelehrter, gest. 1824 in Guanajuato. (Briefl. Mitthlg. des Ingenieurs Carlos Romero in Guanajuato).

Aehnlich ist ein durch von Baumgartner in seiner Mittheilung: „Aräometer zur schnellen Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper" in Baumgartner's und Ettinghausen's Zeitschrift für Physik etc. Bd. 1, p. 1 beschriebenes Gravimeter beschaffen, welches bei Anwendung eines bestimmten absoluten Gewichtes des zu untersuchenden Körpers das spezifische Gewicht direkt abzulesen gestattet.

Andreas Frh. v. Baumgartner, geb. 13. Nov. 1793 zu Friedberg in Böhmen, Prof der Math. u. Phys. in Olmütz u. Wien, später Minister des Bergwesens, Handels u. der Gewerbe, gest. 30. Juli 1865 in Hietzing bei Wien.

H. B. Fulton (Zeitschrift f. anayt. Chemie 1894, Bd. 33, p. 579) benutzt zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes fester Körper eine cylindrische, am unteren Ende mit einem Stiel und einer Beschwerung versehene, oben offene Glasröhre, die eine Millimetereintheilung besitzt. Diese Röhre lässt man in Wasser schwimmen und giesst dann durch die obere Oeffnung soviel Wasser hinein, dass dasselbe genau bis zum Nullpunkt der Theilung reicht. Man liest nun ab, bis zu welchem Theilstrich das Instrument in dem umgebenden Wasser einsinkt. Darauf bringt man den Körper, dessen spezifisches Gewicht zu bestimmen ist, in die Röhre und liest sowohl den Stand des inneren als auch des äusseren Wassers ab. Die Differenz beider Wasserstände dividirt durch die Differenz des inneren Wasserstandes ergiebt das gesuchte specifische Gewicht.

D. Bestimmung des spezifischen Gewichtes mittels des Pyknometers (gr. πυκνός dicht).

Pyknometer zur Bestimmung des spez. Gewichtes.

Diese Methode findet namentlich dann Anwendung, wenn nur geringe Mengen der Substanz zu Gebote stehen.

Pyknometer sind kleine Glasfläschchen (Fig. 257 *ab*). Die innere Wand des kurzen Halses ist abgeschliffen. Auf den Hals passt ein ebenfalls geschliffener hohler Glasstöpsel, dessen Höhlung (Fig. 257 *a*) nach oben in ein offenes Kapillarrohr ausläuft. Bei manchen Pyknometern trägt der Stöpsel ein kleines Thermometer (Fig. 257 *b*). Das Kapillarrohr befindet sich dann an einer anderen Stelle des Gefässes und trägt eine Marke *m* (Fig. 257 *b*). Zur Benutzung wird das Pyknometer leer, rein und gut ausgetrocknet, genau gewogen. Bei Ausführung einer Bestimmung betrug das Gewicht 9,3 g. Darauf wird das Gefäss mit chemisch reinem, durch Kochen von der eingeschlossenen Luft befreitem Wasser von der Temperatur *t* ganz gefüllt. Wenn in dem Gefäss (Fig. 257 *b*) das Wasser über die Marke hinausragt, so saugt man den Ueberschuss mit Filtrirpapier ab. Nach dem Abtrocknen wägt man wieder. Das Gewicht betrug 38,77 g.

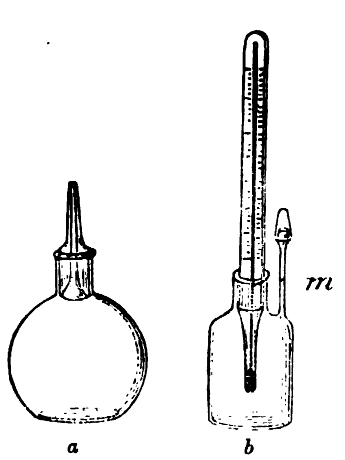


Fig. 257. Pyknometer.

Würde man jetzt die vorher abgewogene Substanz in das Wasser schütten, so könnte von ihr etwas verloren gehen. Rathsamer ist es daher das Gefäss zu entleeren, durch Erwärmen und Einblasen von trockener Luft wiederum gut auszutrocknen, darauf von der Substanz etwas hineinzufüllen und aufs Neue die Wägung vorzunehmen. Der gefundene Werth betrug bei der genannten Bestimmung 11,57 g. Das absolute Gewicht der angewandten Substanz war also

$$11{,}57 - 9{,}3 = 2{,}27 \text{ g.}$$

Alsdann überschüttet man die Substanz mit etwas Wasser, entfernt durch Rühren, Schütteln und Erwärmen die etwa zurückgehaltene Luft und füllt das Pyknometer darauf wie vorher völlig mit Wasser. Nachdem dasselbe die Temperatur *t* angenommen hat, wiederholt man die Wägung. Der gefundene Werth — er betrug 40,66 g — ist offenbar das Gewicht der angewandten Substanz plus dem Gewicht des mit Wasser gefüllten Pyknometers minus dem Gewicht des durch die Substanz verdrängten Wassers. Letzteres aber ist gleich dem Gewicht der Substanz plus dem der mit Wasser gefüllten Flasche minus 40,66 g. Also:

$$2{,}27 + 38{,}77 - 40{,}66 = 0{,}38 \text{ g.}$$

Das spezifische Gewicht des betreffenden Körpers bei der Temperatur t beträgt somit:

$$\frac{2,27}{0,38} = 5,973.$$

Es ist nun allerdings nicht erforderlich das Gewicht der leeren Flasche zu ermitteln und man kann daher mit drei Wägungen schneller zum Ziel gelangen. Man wägt die Substanz ($P = 2,27$ g) und das Pyknometer, wenn es mit Wasser ganz gefüllt ist ($P' = 38,77$ g). Dann bringt man erstere in das Wasser, von welchem natürlich ein Theil ausfliesst und erhält durch die dritte Wägung den Werth $P'' = 40,66$, welcher das Gewicht der Substanz plus dem der vollen Flasche minus dem des ausgetretenen Wassers darstellt.

Die Differenz $P + P' - P''$ ergiebt also das Gewicht der ausgetretenen Wassermenge, und das spezifische Gewicht des Körper ist somit:

$$\frac{P}{P + P' - P''} \text{ oder } \frac{2,27}{2,27 + 38,77 - 40,66} = \frac{2,27}{0,38} = 5,973.$$

Genau geaichte, zu Präcisionsmessungen verwendbare Pyknometer verfertigen die meisten besseren Glasinstrumenten-Fabriken, unter anderen auch G. Müller (Zeitschrift für Glasinstrumenten-Industrie 1898 p. 90). Um bei Pyknometern die zeitlichen Volumveränderungen zu beseitigen, welche wie bei Thermometern auf der chemischen Nachwirkung des Glases beruhen, hat P. Fuchs (Zeitschrift für Glasinstrumenten-Industrie 1898 p. 77) vorgeschlagen die Gefässe nach dem Fertigstellen auf etwa 350° C. zu erhitzen und dann mit grosser Sorgfalt abzukühlen.

Historisches über das Pyknometer.

Die Methode das spezifische Gewicht fester Körper mittels des Pyknometers zu ermitteln stammt aus dem Jahre 1699 von Homberg; eingeführt wurde sie von Regnault. Eine „Modifikation des Piknometers" beschrieb W. F. Gintl in der Zeitschrift für analytische Chemie 8. Jahrg., 1869, p. 122 ff. Um den störenden Einfluss der Luft zu beseitigen hat E. Wiedemann das Instrument in der Art abgeändert, dass es mit einer Quecksilberluftpumpe in Verbindung gebracht werden kann. Hinsichtlich der Einrichtung sei auf die Originalmittheilung in den Annalen der Phys. und Chem. 1882, Bd. 17, p. 983 ff. verwiesen. Da auch in dem verbesserten Instrument oft noch eine kleine Luftblase zurückbleibt, hat R. Schulze demselben eine andere Form gegeben, wodurch der erwähnte Uebelstand gänzlich beseitigt wird. Die Beschreibung und eine Abbildung finden sich in derselben Zeitschrift Bd. 28, 1886, p. 144 mit Taf. I, Fig. 17. — Ueber Fehler des Pyknometers, welche schon durch einen geringen Druck auf den Boden des Gefässes entstehen, und sich durch Niveauänderungen in dem Kapillarrohr bemerklich machen, berichtete S. Pagliani in d. Rivista scientifica industriale 1883, XV, p. 27. — Um auch für grössere Körper das Prinzip des Pyknometers zur Anwendung zu bringen und zugleich das Archimedische Gesetz zu beweisen hat Boudréaux ein nach oben konisch verlaufendes Gefäss mit seitlichem nach

unten gebogenem Abflussrohr verwendet (Fig. 258). E. Wiedemann bemerkt hierzu in seinem Referate (Beiblätter zu der Ann. d. Phys. u. Chem. 1879, Bd. III, p. 234), dass derselbe Apparat schon vor mehr als 800 Jahren von dem arabischen Physiker Abu al Rihan al Birûni benutzt worden sei.

Al. Birûni um 1030?

Berichtigungen bei der Bestimmung des spez. Gewichtes.

E. Ueber die bei der Bestimmung des spezifischen Gewichtes nach den genannten Methoden erforderlichen Berichtigungen.

Es wurde schon bemerkt, dass der Einfluss der Temperatur bei der Bestimmung des spezifischen Gewichtes nicht unberücksichtigt bleiben darf. Es soll daher jetzt auf die bei der Bestimmung nöthigenfalls vorzunehmenden Berichtigungen hingewiesen werden. Für Körper, deren Gewichtsverlust im Wasser ermittelt wurde, ist natürlich die Temperatur des letzteren zu nehmen. Gesetzt die Temperatur sei während der Ausführung der Bestimmung stets dieselbe gewesen, und habe + 4° C. betragen, dann ist keinerlei Berichtigung erforderlich.

Beträgt aber die Temperatur nicht gerade 4°, sondern t°, so ist die Dichte des Wassers auch nicht mehr 1 sondern eine andere (δ). Derselbe Unterschied erstreckt sich auch auf den zu untersuchenden Körper. Man muss daher, um dessen wahre Dichte zu erhalten den gefundenen Werth mit δ als der Dichte des Wassers bei t° multipliziren. Für den Werth δ giebt es besondere Tabellen Beträgt beispielsweise bei der Bestimmung des spezifischen Gewichtes in dem bei der Erklärung des Pyknometers gewählten Beispiel die Temperatur 15° C., so ist, da die Dichte des Wassers bei 15° C. nicht 1, sondern 0,999154 ist, das spezifische Gewicht des Körpers 5,973 × 0,999154 = 5,968. Ohne Berücksichtigung dieser Korrektion würde also in dem vorliegenden Falle der Werth schon in der zweiten Decimalstelle ungenau sein.



Fig. 258. Pyknometer für grössere Körper.

Bleibt nun die Temperatur während der Bestimmung nicht konstant, so ist auf die dann eintretenden verschiedenen Dichtigkeiten des Wassers, sowie auf die kubische Ausdehnung des Glases oder anderen Materials, aus welchem die zur Bestimmung erforderlichen Instrumente angefertigt wurden, Rücksicht zu nehmen. Wenn Δ die auf Wasser von 4° C. bezogene Dichte des zu untersuchenden Körpers bei der Temperatur t ist, welche er während der Wägung besass, so erhält man durch Multiplikation derselben mit dem Ausdruck $1 + 3\beta\ (t - t')$ die Dichtigkeit Δ_1 bei der Temperatur t_1. Bezeichnet man nämlich mit β den linearen Ausdehnungskoeffizienten des Materials (für Glas 0,00000861) so wird dessen Volumen in dem Verhältniss $1 + 3\beta\ (t - t_1)$ grösser. Besondere Sorgfalt muss den Korrektionen bei der Bestimmung mit dem Pyknometer zugewandt werden. Die bei der Bestimmung des spezifischen Gewichtes in Betracht kommenden Berichtigungen hat in eingehender Weise Kohlrausch in den Schriften der Naturforschenden Gesellschaft zu Marburg Bd. VII, 1857 behandelt. — Die Verlängerung, welche die Längeneinheit eines starren Körpers erfährt, wenn die Temperatur von 0° auf 1° steigt, heisst linearer Ausdehnungskoeffizient des Körpers. Besitzt also ein Körper, der bei 0° die Länge 1 hat, bei 1° die Länge $1 + \beta$, so ist β der lineare Ausdehnungskoeffizient.

Betrachtung über Ausdehnungskoeffizienten.

Da die Verlängerung der ursprünglichen Länge proportional ist, so lässt sich der Ausdehnungskoeffizient auch in folgender Weise definiren. Sei l_0 die Länge eines Körpers bei 0°, l_1 diejenige bei 1°, so ist der lineare Ausdehnungskoeffizient:

$$\beta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad (1)$$

Für jede Temperaturerhöhung um 1° bleibt die Verlängerung annähernd dieselbe.

Lässt man geringe Differenzen ausser Acht, so ist, wenn man die Länge eines Körpers bei 0°, 1°, 2°, 3°..... $t^0 = l_0, l_1, l_2, l_3 .....$ l_t setzt:

$$l_1 - l_0 = l_2 - l_1 = l_3 - l_2 ..... = l_t - l_{t-1}$$

Aus 1. folgt: $l_1 - l_0 = \beta . l_0$

oder $l_1 = \beta\, l_0 + l_0 = l_0 (1 + \beta)$

Daher ist: $l_2 = l_0 + 2\, \beta\, l_0$

oder: $l_2 = l_0 (1 + \beta . 2)$

und: $l_t = l_0 + t\, \beta\, l_0$

oder: $l_t = l_0 (1 + \beta\, t)$

Die Ausdehnung in die Fläche muss, eine gleichmässige Beschaffenheit des Körpers nach allen Richtungen vorausgesetzt, in demselben Verhältnisse vor sich gehen. Besitzt eine rechtwinkelige Fläche bei 0° die Länge l_0 und die Breite b_0, so ist ihre Grösse:

$$F_0 = l_0\, b_0$$

Die Länge wird, wie wir gesehen haben, beim Erwärmen auf t^0:

$$l_t = l_0 (1 + \beta\, t)$$

die Breite $b_t = b_0 (1 + \beta\, t)$

Daher ist die Grösse der Fläche bei t_0

$$\begin{aligned} F_t &= l_0 (1 + \beta\, t) . b_0 (1 + \beta\, t) \\ &= l_0\, b_0 (1 + \beta\, t)^2 \\ &= F_0 (1 + 2\, \beta\, t + \beta^2 t^2) \end{aligned}$$

Da β sehr klein ist, so lässt sich die Grösse $\beta^2 t^2$ vernachlässigen, demnach erhält man:

$$F_t = F_0 (1 + 2\, \beta\, t), \text{ das heisst:}$$

der Ausdehnungskoeffizient der Fläche ist doppelt so gross als der lineare, nämlich $= 2\beta$.

Dieselben Verhältnisse finden auch bei der Ausdehnung nach der dritten Dimension statt, immer vorausgesetzt, dass der Körper nach allen Richtungen gleichartig beschaffen ist.

Besitzt ein Körper bei 0° die Länge l_0, die Breite b_0 und die Dicke d_0, so ist bei derselben Temperatur sein Volumen

$$V_0 = l_0 . b_0 . d_0$$

Bei t^0 ist das Volumen dann

$$\begin{aligned} V_t &= l_0 (1 + \beta\, t) . b_0 (1 + \beta\, t) . d_0 (1 + \beta\, t) \\ &= l_0 . b_0 . d_0 (1 + \beta\, t)^3 \\ &= V_0 (1 + 3\, \beta\, t + 3\, \beta^2 t^2 + \beta^3 t^3) \end{aligned}$$

Auch hier können die Grössen $3\beta^2 t^2$ und $\beta^3 t^3$ vernachlässigt werden und man erhält dann:

$$V_t = V_0 (1 + 3\, \beta\, t), \text{ das heisst}$$

der **kubische** Ausdehnungskoeffizient ist dreimal so gross als der lineare.

F. Bestimmungen des spezifischen Gewichtes mittels des Volumenometers.

Die Ermittelung des spezifischen Gewichtes der Körper nach dieser Methode beruht auf der Thatsache, dass dasselbe durch den Quotienten aus dem absoluten

Gewicht und dem Volumen des Körpers bestimmt ist. Um letzteres festzustellen haben verschiedene Arten von Volumenometern Anwendung gefunden.

Volumenometer zur Bestimmung des spez. Gewichtes.

Das neueste derselben, welches von manchen Uebelständen, die den Apparaten älterer Konstruktion anhaften, frei ist, wurde von A. Paalzow konstruirt und in den Annalen der Phys. und Chem. 1881, Bd. XIII, p. 332 ff., Taf. II, Fig. 12 beschrieben. Beistehende Figur 259 zeigt das Instrument.

Fig. 259. Volumenometer nach Paalzow.

Der oben offene Glasbehälter A ist mit einem Manometerrohre verbunden, welches aus den beiden Glasröhren B und D und dem dazwischen liegenden Kautschukschlauch C besteht. Die verengten Abschnitte der beiden Glasröhren sind von gleicher Weite. Der Rauminhalt des Rohres B zwischen den beiden Marken m und m_1 ist durch Wägung des diesen Abschnitt füllenden Quecksilbers genau bestimmt. Er betrage a ccm. Auf den Behälter A passt luftdicht ein Deckel G, an welchem das mit Hahn versehene Glasrohr H angeschmolzen ist. Während die Theile A und B des Apparates an dem Holzstativ S befestigt sind, kann D mittels eines Schlittens S_1 und einer Mikrometerschraube M an der, eine Skala tragenden Seite des Stativs auf- und niederbewegt werden.

Zur Benutzung des Instrumentes füllt man das Manometerrohr mit reinem Quecksilber, bringt in den Behälter A ein Einsatzgefäss, welches später den zu untersuchenden Körper aufnimmt und verschiebt das Rohr D so lange, bis das Quecksilber bei m und in beiden Schenkeln gleich hoch steht. Man setzt nun den Deckel G luftdicht auf den Behälter A, schliesst den Hahn im Rohr H und senkt das Rohr D so weit, bis das Quecksilber den Stand m_1 inne hat. Die Skala giebt die eingetretene Druckdifferenz (d) an.

Ist nun p_0 der gerade herrschende, durch das Barometer angegebene Luftdruck und v_0 das Volumen des Behälters *A* sammt dem Einsatzgefässe, so befindet sich bei der ersten Stellung von *D* das Luftvolumen v_0 unter dem Druck p_0. Bei der zweiten Stellung von *D* lastet auf dem Luftvolumen $(v_0 + a)$ der Druck $(p_0 - d)$. Man hat daher nach dem Boyle'schen Gesetz (zu vergl. Bd. I, p. 547)

$$v_0 : (v_0 + a) = (p_0 - d) : p_0$$

oder

$$v_0 p_0 = (v_0 + a)(p_0 - d)$$

oder, indem man $p_0 - d = p$ setzt:

$$v_0 p_0 = v_0 p + a p \text{ und}$$
$$v_0 p_0 - v_0 p = a p \text{ oder}$$
$$v_0 (p_0 - p) = a p \text{ also:}$$

$$v_0 = a \frac{p}{p_0 - p}$$

Man öffnet alsdann den Behälter *A*, füllt den zu untersuchenden und genau abgewogenen Körper von dem Volumen x in das Einsatzgefäss und verschiebt das Rohr *D* so weit, dass das Quecksilber wieder bis zur Marke *m* reicht. Bedeckt man darauf den Behälter *A* wieder und schliesst den Hahn, so ist das jetzt abgesperrte Luftvolumen:

$$v_1 = (v_0 - x)$$

Verfährt man dann mit dem Herablassen von *D* wie vorher, bis also das Quecksilber wieder bei m_1 steht und bezeichnet man die nun eingetretene Druckdifferenz mit d_1, so ist das Luftvolumen $(v_1 + a)$, und der Druck $(p_0 - d_1)$.

Man hat daher:

$$v_1 : (p_0 - d_1) = (v_1 + a) : p_0$$

oder

$$v_1 p_0 = (v_1 + a)(p_0 - d_1)$$

oder, indem man $p_0 - d_1 = p_1$ setzt:

$$v_1 = a \frac{p_1}{p_0 - p_1}$$

Das gesuchte Volumen x ist daher in Kubikcentimetern

$$x = v_0 - v_1$$
$$= a \left(\frac{p}{p_0 - p} - \frac{p_1}{p_0 - p_1} \right)$$

Bezeichnet man das absolute Gewicht des Körpers in Grammen ausgedrückt mit P, so ist sein spezifisches Gewicht:

$$s = \frac{P}{x}$$

Dasselbe bezieht sich wieder auf Wasser von 4° als Einheit und für den Körper auf die Versuchstemperatur t. Das Hahnrohr erlaubt mit Hülfe der vorgelegten Trockenapparate TT_1 durch Heben und Senken von *D* trockene Luft in dem Behälter *A* anzusammeln.

Das beschriebene Instrument, mit Lupen zum Ablesen versehen, wird von der Firma Ehrhardt & Metzger in Darmstadt zum Preise von 285 Mark, ohne die Lupen für 215 Mark geliefert.

Aelteren Datums sind die Volumenometer von Say (Ann. de Chim. par Guyton, Lavoisier etc. T. XXIII, 1797, p. 1 mit Abbildg. und Gilbert's Annalen, Bd. 2, 1799, p. 230, Taf. 4), welcher seinen Apparat Stereometer nannte, von Kopp (Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie, 1840, Bd. 35, p. 17 m. 3 Fig.), Regnault (Ann. de Chim. et de Phys., III. Ser., T. XIV, p. 207 und Poggend. Ann., 1845, Bd. 66, p. 445, Taf. 1, Fig. 11) und Rüdorff (Ann. der Phys. u. Chem. N. F.

Horace Say, gest. im Mai 1799 in Caesarea, Syrien, Chef des Géniecorps der franz. Armee in Aegypten, vorher Prof. an der Ec. polyt. in Paris.

1879, Bd. VI, p. 288). Auf die Beschreibung dieser Apparate kann hier verzichtet werden, da das Paalzow'sche Instrument sie alle fast gänzlich verdrängt hat.

In nachstehenden Tabellen lassen wir das spezifische Gewicht einiger Legirungen und Amalgame (zu vergl. Bd. I, p. 910, 911), verschiedener Chemikalien und Mineralien und der gebräuchlichsten Holzarten folgen:

G. Spezifisches Gewicht verschiedener Chemikalien und Mineralien (Wasser bei $+4^0 = 1$).

Achat (gr. ὁ ἀχάτης bei Theophrast). Ein wechselndes Gemenge verschiedener Quarzvarietäten.	2,59
Alabaster (gr. ὁ und ἡ ἀλάβαστρος Stein aus der Umgegend der ägyptischen Stadt Ἀλάβαστρα), feinkörniger, weisser Gyps (zu vergl. Bd. I, p. 653)	2,7
Alaun (vom lat. alumen Vitr.) (zu vergl. Bd. I, p. 657)	1,71
Anthracitkohle	1,4 bis 1,7
Aragonit (zu vergl. Bd. I, p. 653)	2,93
Asbest (gr. ἡ ἄσβεστος eine unvergängliche [σβέννυμι, fut. σβέσω], unverbrennliche Steinart Diosc.), besteht wesentlich aus Magnesium, Calcium und Kieselsäure	2,1 bis 2,8
Asphalt (ἡ ἄσφαλτος und τὸ ἄ-τον Hipp. Diosc.), Erdpech, bestehend aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff	1,12
Basalt (bei Plinus basaltes, vom Aethiop. basal, verw. mit dem hebr. barsel Eisen)	2,7 bis 3,2
Bergkrystall (krystallisirte Kieselsäure)	2,65
Bernstein	1,08
Bimstein (zu vergl. Bd. I, p. 952)	0,9 bis 1,6
Bittersalz (zu vergl. Bd. I, p. 653)	1,75
Bleioxyd	9,25
Bogheadkohle	1,284
Borax (zu vergl. Bd. I, p. 653)	1,72
Borsäure (zu vergl. Bd. I, p. 448)	1,46
Braunkohle	1,2 bis 1,4
Braunstein (Mangandioxyd)	4,1 bis 4,9
Chlorcalcium	2,22
Diamant (zu vergl. Bd. I, p. 632 und 657)	3,5 bis 3,6
Eis	0,91 bis 0,93
Eisenvitriol (zu vergl. Bd. I, p. 653)	1,9
Feuerstein (Gemisch von amorpher und krystallinischer Kieselsäure)	2,59 bis 2,65
Flussspath (zu vergl. Bd. I, p. 657)	3,15
Glas: Crownglas	2,447 bis 2,657
Fensterglas	2,6
Flintglas	3,2 bis 4,8
Jenaer Silicatgläser	2,24 bis 6,33
Krystallglas	2,89
Glaubersalz (zu vergl. Bd. I, p. 653)	1,46
Glimmer: Kaliglimmer (Kaliumthonerdesilicat)	2,76 bis 3,1
Lithionglimmer (Gemenge verschiendener Alkali- [2 bis 5 % Lithion] Thonerdesilicate)	2,816 bis 3,19
Magnesiaglimmer (Gemenge von Magnesia [Kali]-Thonerde [Eisen]-Silicaten)	2,74 bis 3,13

Stoff	Spez. Gewicht
Granit (krystallisch-körniges Gestein aus Feldspath, Quarz und Glimmer)	2,5 bis 3,1
Hartgummi	1,15
Hollundermark	0,09
Kalk (gebrannt)	2,3 bis 3,2
Kalkspath (Calciumkarbonat)	2,72
Kalkstein	2,5 bis 2,8
Kampfer (zu vergl. Bd. I, p. 732)	1,00
Kautschuk	0,95
Kochsalz (Chlornatrium)	2,14
Kopal (mexik. kopalli), der eingetrocknete Saft von Hymenaea (gr. ὁ ὑμήν das Häutchen) courbaril (mexik. Name) Fam. Caesalpiniaceae	1,1
Kork	0,24
Kreide	2,1 bis 2,7
Kupfervitriol (zu vergl. Bd. I, p. 653)	2,27
Marmor	2,75
Meerschaum (kieselsaure Magnesia)	1,35
Mehl aus Weizen	1,56
Mennige (Bleioxydoxydul)	9,15
Milchzucker (zu vergl. Bd. I, p. 653)	1,53
Paraffin	0,89
Pech	1,07
Porzellan	2,2 bis 2,5
Quarz (zu vergl. Bd. I, p. 655)	2,65 bis 2,8
Salmiak (zu vergl. Bd. I, p. 657)	1,46
Salpeter (Kalisalpeter, zu vergl. Bd. I, p. 264 und 653)	1,95 bis 2,1
Salpeter (Natronsalpeter)	2,1 bis 2,2
Sandstein	2,3
Schiefer	2,65
Schwerspath (Baryumsulfat)	4,44
Smaragd (zu vergl Bd. I, p. 655)	2,77
Sonnenblumenmark (spezifisch leichtester der bisher untersuchten festen Stoffe)	0,028
Stearin	0,97
Steinsalz (zu vergl. Bd. I, p. 657)	2,28
Thon	1,8 bis 2,5
Traubenzucker (zu vergl. Bd. I, p 778)	1,57
Wachs	0,97
Ziegelstein	1,4 bis 2,2
Zinnober (zu vergl. Bd. I. p. 655)	8,1
Zucker (Rohrzucker, zu vergl. Bd. I, p. 653)	1,61

H. Spezifisches Gewicht einiger Legirungen und Amalgame.

Messing, gelb	gegossen	8,44	8,5	8,4
	gewalzt	8,56		
	gezogen	8,70		
roth			8,6	
weiss			8,2	

Bronze	90 Thl. Kupfer, 10 Thl. Zinn 8,78	8,8
	85 „ „ 15 „ „ 8,89	
	80 „ „ 20 „ „ 8,74	
	75 „ „ 25 „ „ 8,83	
Neusilber		
chinesisch	26,3 Thl. Kupfer, 36,8 Thl. Zinn, 36,8 Thl. Nickel 8,30	8,4
Berliner I	52,0 „ „ 26,0 „ „ 22,0 „ „ 8,45	
II	59,0 „ „ 30,0 „ „ 11,0 „ „ 8,34	
III	63,0 „ „ 31,0 „ „ 6,0 „ „ 8,30	
Blei-Zinnlegirungen	87,5 Thl. Blei, 12,5 Thl. Zinn 10,60	
	84,0 „ „ 16,0 „ „ 10,33	
	77,8 „ „ 22,2 „ „ 10,05	
	63,7 „ „ 36,3 „ „ 9,43	
	46,7 „ „ 53,3 „ „ 8,73	
	30,5 „ „ 69,5 „ „ 8,24	
Rose's Legirung (zu vergl. Bd. I, p. 913)		9,45
Wood's Legirung (zu vergl. Bd. I, p. 919)		9,7
Gold-Kupferlegirungen:	98 Thl. Gold, 2 Thl. Kupfer 18,84	
	96 „ „ 4 „ „ 18,36	
	94 „ „ 6 „ „ 17,95	
	92 „ „ 8 „ „ 17,52	
	90 „ „ 10 „ „ 17,16	
	88 „ „ 12 „ „ 16,81	
	86 „ „ 14 „ „ 16,47	
Amalgame:		
Bleiamalgam		12,0 bis 12,8
Wismuthamalgam		10,2 bis 11,2
Goldamalgam		15,4
Zinnamalgam		8,8 bis 10,3

I. Spezifisches Gewicht (Mittelwerth) einiger Holzarten im trockenen Zustande.

Karl Karmarsch, geb. 17. Oktbr. 1803 in Wien, Prof. der Technologie in Hannover, gest. 24. März 1879 in Hannover. (Biogr. von E. Hoyer, Hannover 1880.)

(Zu vergl. Karmarsch: Jahrbücher des polytechn. Inst. Wien, Bd. 18, p. 123.)

Ahorn, Acer (ἡ σφένδαμνος der Griechen) VIII. 1. Fam. Accrineae . . . 0,67
Apfel, Pirus (Plinius und Virgil) malus XII, 2.—5. Fam Pomaceae . . 0,75
Birke, Betula XXI, 4. Fam. Betulaceae 0,72
Birne, Pirus communis XII, 2.—5. Fam. Pomaceae 0,73
Buche, Fagus silvatica XXI, 7. Fam. Cupuliferae 0,75
Buxbaum, Buxus (Plin.) sempervirens XXI, 4. Fam. Buxaceae 1,33
Ceder, Larix (Plin.) cedrus (gr. ἡ κέδρος) XXI, 2. Fam. Coniferae . . . 0,56
Cypresse, Cupressus XXI, 8. Fam. Coniferae 0,60
Ebenholz, Diospyros (gr. δῖος göttlich und ὁ πυρός [eigentlich der Weizen] die Frucht, wegen der wohlschmeckenden Früchte des denselben Namen führenden Dattelbaumes) ebenum (gr. ἡ ἔβενος Ebenbaum) XXII, 7. Fam. Ebenaceae 1,22
Eibenbaum (zu vergl. Bd. I, p. 244) 0,74
Eiche, Quercus XXI, 7. Fam. Cupuliferae 0,90

Erle, Alnus XXI, 4. Fam. Betulaceae	0,50
Esche, Fraxinus II, 1. Fam. Oleaceae	0,47
Feigen- (Sykomore) holz (Ficus sycomorus) (gr. ἡ συκόμορος Maulbeerfeigenbaum) XXI. 3. Fam. Moraceae	0,45
Fichte, Picea abies XXI, 2. Fam. Coniferae	0,97
Eisenbaum, Stadmannia (Stadmann, Name eines Botanikers) australis VIII, 1. Fam. Aesculinae	1,80
Hainbuche, Carpinus betulus XXI, 7. Fam. Cupuliferae	0,75
Jacaranda, Jacaranda (brasil. Name) brasiliana XIV, 2. Fam. Bignoniaceae	0,91
Kiefer, Pinus XXI, 2. Fam. Coniferae	0,55
Lärche, Larix europaea XXI, 2. Fam. Coniferae	0,63
Linde, Tilia grandiflora XIII, 1. Fam. Tiliaceae	0,48
Mahagoni, Swietenia (nach van Swieten [zu vergl. Bd. II, p. 94] benannt) Mahagoni (vaterländ. Name) X, 1. Fam. Meliaceae	
Cuba	0,56
Honduras	0,61
Domingo	0,75
gefleckt	0,82
afrikanisch	0,94
Wallnuss, Juglans (zusammengezogen aus Jovis-glans, d. h. Jupiters Eichel) regia XXI, 7. Fam. Juglandaceae	0,67
Oelbaum (Olivenholz), Olea europaea II, 1. Fam. Oleaceae	0,67
Pappel, Populus XXII, 8. Fam. Salicineae	0,38
Pflaume, Prunus domestica XII, 1. Fam. Amygdalaceae	0,87
Pockholz, Guajacum (haitischer Name) officinale X, 1. Fam. Zygophyllaceae	1,28
Rosenholz, Convolvulus scoparius V, 1. Fam. Convolvulaceae	1,03

Unter dem Namen Rosenholz ist noch im Handel das Holz von Amyris (gr. ἀ intensivum und ἡ μυρίς die Salbenbüchse, τὸ μύρον wohlriechender, zu Salben benutzter Pflanzensaft, also amyris so viel wie sehr wohlriechend) balsamifera VIII, 1. Fam. Burseraceae, ferner das Holz verschiedener Arten des, zu den Mimosaceen gehörigen brasilianischen Baumes Triptolemea (mythol. Name Triptolemus, der aus einem mit Drachen bespannten Wagen das Getreide der Ceres auf die Erde streute) und endlich das Holz von Caesalpinia obovata, Fam. Caesalpiniaceae. Das spezifische Gewicht dieser Holzarten kommt dem von Convolvulus scoparius nahe, ebenso das von Caesalpinia brasiliensis stammende Fernambukholz.

Rosskastanie, Aesculus hippokastanum VII, 1. Fam. Sapindaceae	0,58

Die Alten kannten nur die Edelkastanie (Castanea XXI, 7. Fam. Cupuliferae), ἡ καστανέα oder -νεία und τὸ κάστανον, welche sich aus der Umgegend der thessalischen Stadt Κάστανα weit verbreitete. Aesculus hiess bei den Alten die immergrüne Wintereiche. Linné übertrug diesen Namen auf den von der Edelkastanie gänzlich verschiedenen Baum wegen der Aehnlichkeit der Früchte, welche, unter das Futter gemengt, schwer athmenden Pferden (ἵππος) heilsam sein sollen.

Satinetholz, Ferolia (Name des Baumes in Guiana) guianensis XII, 6. Fam. Rosaceae	0,96
Tek (Thek- oder Tiek)-holz, Tectonia (vom malabarischen Namen tekka) grandis V, 1. Fam. Verbenaceae	0,95

Ulme, Ulmus campestris V, 2. Fam. Ulmaceae 0,68
Weide, Salix (Plinius leitet das Wort ab von salire, d. h. springen, wegen des schnellen Wachsthums) XXII, 2. Fam. Salicineae 0,54
Weissdorn, Crataegus (κραταιός stark, wegen des festen Holzes) oxyacantha (ὀξύς spitz und ἡ ἄκανθα der Dorn) XII, 2.—5. Fam. Pomaceae 0,87

Aylmer Bourke Lambert, geb. 1761 engl. Botaniker gest. 1841 in Kew.

Zebraholz, Omphalobium (ὁ ὀμφαλός der Nabel und ὁ λοβός der Lappen, wegen der Gestalt des Samens) Lambertii X, 1. Fam. Connaraceae . 1,07

II. Bestimmungsmethoden für flüssige Körper.

Die hydrostatische Waage zur Bestimmung des spez. Gewichtes von Flüssigkeiten.

A. Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten mittels der hydrostatischen Waage.

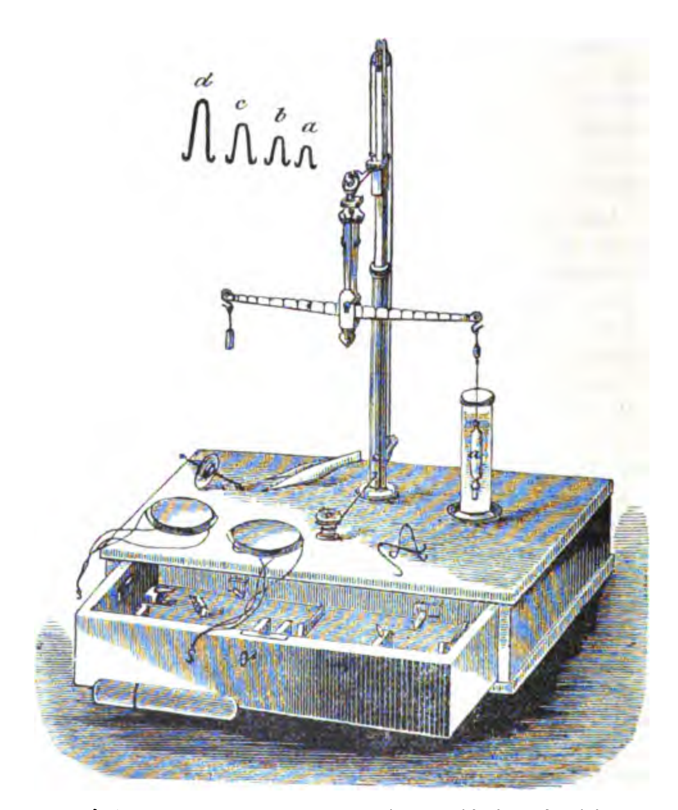


Fig. 260. Mohr'sche Waage zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten, auf Achatlager spielend, mit Senkkörper, Reitergewichten, Glascylinder, Pincette, zwei Schalen an Schnüren zu gewöhnlichen Wägungen, mit dritter Schale zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von festen Körpern in verschliessbarem Mahagonikasten.

Diese Methode beruht auf der Thatsache, dass ein und derselbe Körper beim Eintauchen in zwei verschiedenen Flüssigkeiten in ver-

schiedenem Grade an seinem Gewichte verliert. Die Gewichtsverluste drücken also die Gewichte gleicher Volumina der angewandten Flüssig-

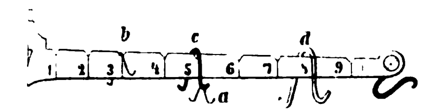


Fig. 261. Stellung der Reitergewichte an der Mohr'schen Waage zur Veranschaulichung des spezifischen Gewichtes 0,8535.

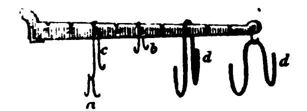


Fig. 262. Stellung der Reitergewichte an der Mohr'schen Waage zur Veranschaulichung des spez. Gewichtes 1,7353.

keiten aus und verhalten sich zu einander wie die spezifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten.

Von dem hierbei benutzten sogenannten Senkkörper, der

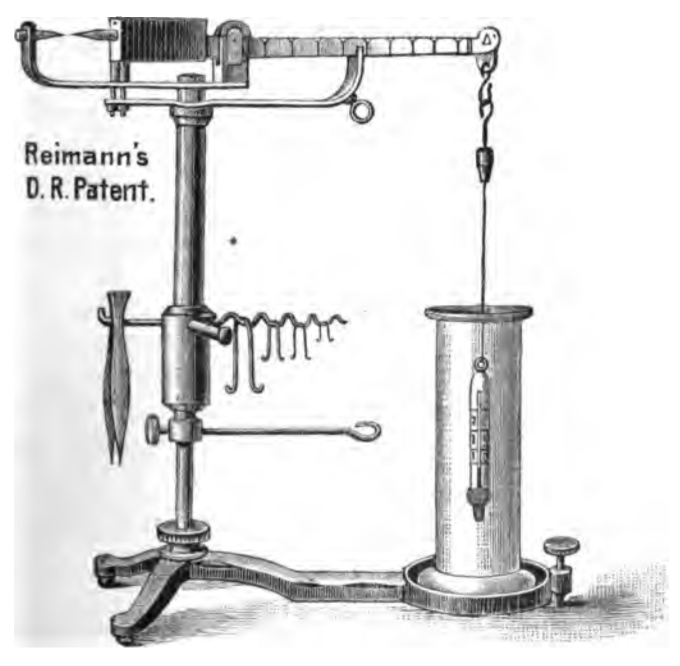


Fig. 263. Reimann's einarmige Waage mit federnder Arretirung zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von leichten und schweren Flüssigkeiten.

meistens mit einem Thermometer verbunden ist, kennt man das absolute Gewicht und den Gewichtsverlust im Wasser. Wenn man dann

den Gewichtsverlust des Senkkörpers in der zu untersuchenden Flüssigkeit ermittelt, so ist das spezifische Gewicht der letzteren

$$D = \frac{\text{Gewichtsverlust in der Flüssigkeit}}{\text{Gewichtsverlust in Wasser}}$$

Hydrostatische Waage von Mohr.

Mit Hülfe der in Fig. 260 (p. 198) abgebildeten Mohr'schen Waage lässt sich die Bestimmung leicht ausführen. Der an dem einen Arme des Waagebalkens befestigte Senkkörper *a* wird durch ein Gegengewicht am anderen Arme äquilibrirt. Taucht man aber den Senkkörper unter Wasser, so muss, um das Gleichgewicht wieder herzustellen, der Reiter *d*, dessen Gewicht gerade gleich dem Gewichtsverluste des Senkkörpers in Wasser ist, auf das Gehänge gebracht werden, welches einem zehnten Theilstriche des durch den Senkkörper belasteten, von der Balkenaxe aus in zehn gleiche Abschnitte getheilten Armes entspricht. Darauf wählt man statt Wasser die zu untersuchende Flüssigkeit. Im Falle sie leichter als dieses ist, setzt man den Reiter *d* auf einen der Drehungsaxe des Balkens näher gelegenen Theilstrich und findet das spezifische Gewicht dann zunächst annäherend. Um aber die Bestimmung bis auf mehrere Decimalstellen, also genauer auszuführen, kommen noch andere Reiter zur Verwendung. Einige von ihnen, in der Fig. 260 und 261 (p. 199) mit *c* bezeichnet, betragen 0,1, andere (*b*) 0,01 und wieder andere (*a*) 0,001 von *d*. Durch passende Lagerung dieser Reiter gelingt es, das Gleichgewicht vollständig herzustellen und das spezifische Gewicht genau zu ermitteln. Die Lage der verschiedenen Reiter in Fig. 261 veranschaulicht ohne weitere Beschreibung das spezifische Gewicht der zur Untersuchung herangezogenen Flüssigkeit zu 0,8535. Bei flüssigen Substanzen, welche schwerer als Wasser sind, lässt man den Reiter *d* im Gehänge, fügt eventuell noch einen oder mehrere von demselben Gewichte hinzu und verfährt im Uebrigen wie angegeben. Die Reiterstellung in Fig. 262 ergiebt das spezifische Gewicht 1,7353.

Unter Berücksichtigung der Reiterstellung auf den Theilstrichen 1 bis 9 des Balkens ist also das Gewicht:

$$\begin{aligned} d &= 0{,}1 \text{ bis } 0{,}9 \\ c &= 0{,}01 \text{ bis } 0{,}09 \\ b &= 0{,}001 \text{ bis } 0{,}009 \\ a &= 0{,}0001 \text{ bis } 0{,}0009. \end{aligned}$$

Wenn mehrere der Reiter auf ein- und denselben Theilstrich zu liegen kommen, so wird der kleinere an den grösseren gehängt (Fig. 261 und 262).

Man beachte noch folgende Schemata:

d_{10} c_2 b_8 a_9	ergiebt das	spezifische	Gewicht		1,0289
d_{10} d_4 c_1 b_3 a_5	"	"	"	"	1,4135
d_{10} d_{10} d_{10} d_5 c_6 b_9 a_2	"	"	"	"	3,5692
d_{10} d_5 c_5 b_2 a_2	"	"	"	"	1,5522
d_3 c_2 b_1 a_3	"	"	"	"	0,3213
d_3 c_3 b_3 a_4	"	"	"	"	0,3334

Mohr hat die hydrostatische Waage in seinem Lehrbuch der pharmazeutischen Technik, 2. Aufl., Braunschweig 1853, beschrieben.

Hydrostatische Waage von L. Reimann.

Eine Abänderung hat die Mohr'sche Waage durch Westphal (Archiv für Pharmacie 1867 Bd. 10 p. 322) und L. Reimann



Fig. 264 *a* und *b*. Reimann'sche Aräometer.

Berlin, SO. Schmidstr. 32 erhalten. Der einarmige Balken ruht in einem Axenlager und trägt auf der einen Seite desselben die Theilung, auf der anderen ein Gegengewicht mit einer Spitze, welche den Nullpunkt der Einstellung markirt. Die Fig. 263 (p. 199) bedarf keiner weiteren Beschreibung.

Reimann's Aräometer.

Bei seinem sogenannten Aräometer bringt L. Reimann einen Patentsenkkörper (D. R. P. 791 vom 21. Sept. 1877) in Anwendung,

dessen Gewicht und Volumen auf bestimmte Werthe justirt sind. Statt der Reiter werden bei diesem Instrument gewöhnliche Gewichtsstücke benutzt. Fig. 264 *a* und *b* (p. 201) veranschaulichen die Einrichtung.

Wenn nur wenige, etwa 5 ccm, der zu untersuchenden Flüssigkeit zu Gebote stehen, wird ein Eingrammsenkkörper benutzt, hierbei erhält man das spezifische Gewicht bis zur dritten Decimalstelle. Verfügt man über 40 bis 50 ccm Flüssigkeit, so wählt man einen Zehngrammsenkkörper, wobei dann die Bestimmung bis zur vierten Decimalstelle genau ist. Bei der Aufstellung der Waage, die in einem Etui aufbewahrt wird, legt man den Balken in das zugehörige Lager, hängt (Fig. 264*a*) oder setzt (Fig. 264*b*) die Tragschale an das Ende des Balkens, fügt den Senkkörper ein und lässt die Zunge mit Hülfe des am linken Schenkel des Balkens beweglichen Laufgewichtes einspielen. Das Glas mit der zu untersuchenden Flüssigkeit findet auf dem Teller (Fig. 264*a*) oder in einem Halter (Fig. 264*b*) seinen Platz. Bei allen Bestimmungen muss darauf geachtet werden, dass der zusammengedrehte Abschnitt des Platindrahtes an der Glasöse des Senkkörpers sich unter dem Niveau der Flüssigkeit befindet. Reimann macht in seinem Preisverzeichniss von 1892 darauf aufmerksam, dass man den Fehler, welcher durch mehr oder weniger tiefes Eintauchen des Körpers entstehen würde, dadurch vermeidet, „dass man zuerst den Körper in destillirtes Wasser bei 15° C. eintaucht und bei dem kleineren Körper — 1 Gramm-Körper — die Schale mit einem Gewichtsstücke von 1 Gramm des zu benutzenden Gewichtssatzes belastet — darauf das verstellbare Stativ höher oder niedriger einstellt bis die Waage einspielt — und die Länge des eintauchenden Stückes des Platindrahtes schätzt und hiervon Notiz nimmt."

Bei Benutzung des Zehngrammkörpers muss man ein Zehngrammgewichtsstück auf die Schale legen, wenn man in Wasser von 15° C. die Eintauchungsmarke feststellt. Bei allen später zur Untersuchung gelangenden Flüssigkeiten muss der Senkkörper ebenso tief eintauchen, wenn die Waage bei der erforderlichen Belastung mit Gewichtsstücken einspielt. Bei Anwendung des Eingrammsenkkörpers giebt die Summe der letzteren direkt das spezifische Gewicht. Bei Benutzung des Zehngrammkörpers wird sie durch zehn dividiert, um dasselbe zu erhalten.

Die Vorzüge, welche der Apparat der Mohr'schen Waage und den einschenkligen Waagen gegenüber besitzt, bestehen namentlich in dem Wegfall der Schnitteintheilung des Balkens. Dadurch wird eine nicht unbedeutende Fehlerquelle vermieden, da sämmtliche Schnitte als Axen wirken und untereinander in bestimmten Verhältnissen justirt sein müssen, so dass die Aenderung der End- oder der Mittelaxe eine unrichtige Angabe aller Schnitte bedingt.

B. Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten mit dem Pyknometer.

Pyknometer zur Bestimmung des spez. Gew. von Flüssigkeiten

Beträgt das Gewicht des Pyknometers mit Wasser gefüllt bei t^0 Celsius P_1 Gramm, mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt bei derselben Temperatur P Gramm und im leeren Zustande p Gramm, so ist das spezifische Gewicht der betreffenden Flüssigkeit $D = \frac{P-p}{P_1-p}$.

Ausser dem bereits erwähnten Gefäss sind verschiedene andere Formen gebräuchlich. Sprengel's Pyknometer besteht aus einer U-förmigen Glasröhre (Fig. 265). Jeder Schenkel derselben endigt mit einem Kapillarrohr *a* und *b*. Ersteres besitzt $^1/_6$ bis $^1/_4$ mm, letzteres etwa $^1/_2$ mm im Durchmesser. Zum Einfüllen des Wassers oder der zu untersuchenden Flüssigkeit taucht man *b* ein (Fig. 265 *B*), während man *a* durch eine Vorlage mit einem zum Ansaugen dienenden Schlauch verbindet.

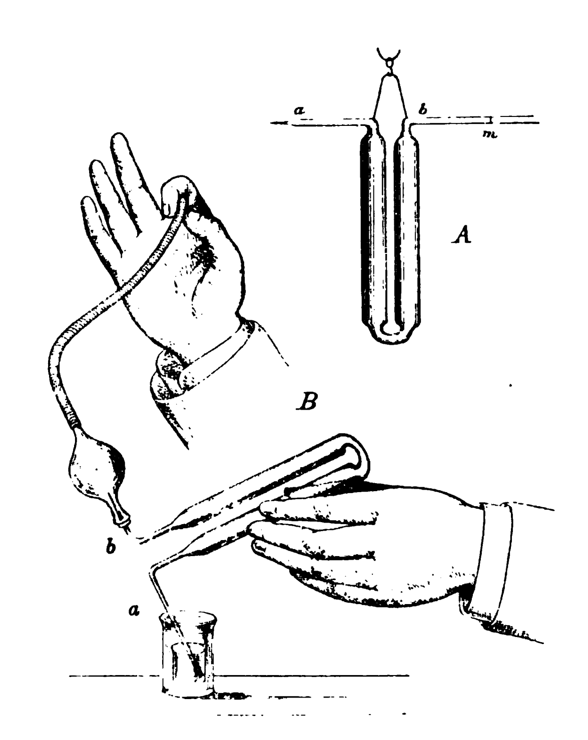


Fig. 265 *A* und *B*. Sprengel's Pyknometer nach der Originalzeichnung.

Nach der Füllung wird das von der Saugvorrichtung befreite Pyknometer bis zu den Biegungen der Haarröhrchen in ein Wasserbad getaucht, dessen Temperatur genau auf die der Luft regulirt wurde. Die etwa eintretende Volumänderung der Flüssigkeit erstreckt sich nur auf die Röhre *b*, nicht dagegen auf *a*, weil diese enger als *b* ist. Die Röhre *a* bleibt also gefüllt, *b* soll, wenn der Apparat die Temperatur des Wasserbades angenommen hat, bis zur Marke *m* gefüllt sein. Ist dies nicht der Fall, sondern reicht die Flüssigkeit über die Marke hinaus, so berührt man das Ende von *a* mit einem Stückchen Filtrirpapier und wiederholt dies so oft, bis die Flüssig-

keit einsteht. Befindet sie sich dagegen vor der Marke, so bringt man mittels eines Glasstabes einen Tropfen an das Ende der Röhre *a*. Er wird hier eingesogen und die Flüssigkeit in *b* vorwärts getrieben. „Besondere Sorgfalt muss darauf verwandt werden, sich der Richtigkeit der Normaltemperatur zu versichern, ein Fehler von 0,°1 bewirkt einen Fehler in der fünften Decimale" (Sprengel). Nachdem das Volumen sorgfältig adjustirt wurde, wird der Apparat aus dem Bade genommen, abgetrocknet und gewogen. Bei diesen Manipulationen ist besonders darauf zu achten, dass man die Spitze von *a* nicht berühre, da sonst Flüssigkeit verloren geht. Die Entleerung des Apparates geschieht durch Einblasen von Luft in *a* mittels der genannten Vorrichtung. Etwas abgeändert wurde Sprengel's Pyknometer neuerdings von A. Minozzi.

Noch andere Formen von Pyknometern sind von Mendelejeff, Landolt, Kahlbaum und Campanile angegeben worden; für die Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten bei höherer Temperatur haben Schiff und Schall Pyknometer konstruirt, und Blümcke hat einen derartigen Apparat für solche Flüssigkeiten angegeben, deren Existenz nur bei hohem Druck möglich ist. Die Arbeiten der genannten Autoren sind folgende:

A. Blümcke. Ueber die Bestimmung des spezifischen Gewichtes solcher Flüssigkeiten, deren Existenz an das Vorhandensein hoher Drucke gebunden ist. Annalen der Physik und Chemie 1884, Bd. 23, p. 404 ff, Taf. VI., Fig. 3–8.

F. Campanile: Una boccetta a densità per i liquidi. Il nuovo cimento 1897. T. 5, p. 183 (mit Abbildung).

G. W. A. Kahlbaum: Einige kleine Aenderungen am Pyknometer. Annalen der Physik und Chemie 1883, Bd. 19, p. 378 ff.

H. Landolt: Das optische Drehungsvermögen organischer Substanzen. Braunschweig, Vieweg 1879, p. 135.

D. Mendelejeff: Ueber die Verbindungen des Alkohols mit Wasser. Annalen der Physik und Chemie 1869, Bd. 18, p. 126.

A. Minozzi: Di una modificazione al picnometro di Sprengel. Rendiconti delle Real. Acad. di Roma 1899, Vol. 8, 2 Sem., p. 450.

C. Schall: Ueber eine Beziehung zwischen Molekulargewicht und Verdampfungsgeschwindigkeit bei Flüssigkeiten. Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft 1884, Jahrg. 17, p. 2201 ff.

Rob. Schiff: Methode zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten bei ihrem Siedepunkte. Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft 1881, Jahrg. 14, p. 2761 ff.

Hermann Sprengel: Methode zur leichten und sehr genauen Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten. Annalen der Physik und Chemie 1873, Bd. 150, p. 459 ff., Taf. VI, Fig. 21, 22.

Nicholson's Aräometer zur Bestimmung des spez. Gew. von Flüssigkeiten.

C. Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten mit dem Aräometer von Nicholson.

Ist wieder p das ein- für allemal bestimmte Gewicht des Instrumentes, ferner P_1 das Zulagegewicht, welches erforderlich ist, um das

Instrument bis zur Marke im Wasser eintauchen zu lassen und P dasjenige Gewicht, welches auf die Schale gelegt werden muss, damit das Aräometer in der zu untersuchenden Flüssigkeit bis zur Marke eintauche, so sind $p + P_1$ und $p + P$ die Gewichte gleicher Volumina von Wasser und der betreffenden Flüssigkeit, folglich ist das spezifische Gewicht der letzteren

$$D = \frac{p + P}{p + P_1}.$$

D. Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten mit dem Skalenaräometer.

Skalenaräometer zur Bestimmung des spez. Gew. von Flüssigkeiten.

Während man in dem Aräometer von Nicholson ein Instrument besitzt, bei welchem durch Veränderung des Gewichtes beim Eintauchen stets dasselbe Volumen erzielt wird, sind die Skalenaräometer, auch Spindeln oder Senkwaagen genannt, Tauchkörper von unveränderlichem Gewicht, mit denen man aus dem mehr oder weniger tiefen Einsinken das spezifische Gewicht der Flüssigkeit ermittelt. Ihr Gebrauch beruht auf dem aus dem archimedischen Prinzipe sich ergebenden Satze: dass bei gleichem absolutem Gewichte zweier, beim Eintauchen der Instrumente verdrängten Flüssigkeitsmassen deren spezifische Gewichte sich umgekehrt verhalten wie ihre Volumina. Oder:

$$v : v_1 = \delta_1 : \delta.$$

Ist der Körper von dem Volumen v_1 Wasser, so ist $\delta_1 = 1$ und daher das spezifische Gewicht irgend einer Flüssigkeit

$$\delta = \frac{v_1}{v}.$$

Bequemlichkeit und Schnelligkeit der Bestimmung haben diesen, meistens aus Glas angefertigten Aräometern namentlich Eingang in die Praxis verschafft; für wissenschaftliche Untersuchungen sind sie dann brauchbar, wenn es sich nur um eine annähernde Genauigkeit handelt. Die gebräuchlichsten Formen der Skalenaräometer zeigt die Fig. 266 *a* bis *c* (p. 206).

Die Instrumente werden vom Glasbläser — bei einiger Geschicklichkeit kann man sie selbst blasen — derartig angefertigt, dass zwischen den Dimensionen des cylindrischen Halses und den Dimensionen der beiden Erweiterungen, von denen die obere zum Schwimmen, die untere zum Belasten mittels Quecksilbers oder Schrotes dient, ein bestimmtes Verhältniss besteht. Der Kubikinhalt der unteren Erweiterng zu dem der oberen soll sich ungefähr wie 1 : 2 verhalten. Da nun die erweiterten Theile nicht zu klein ausfallen dürfen, damit beim Einsinken oder Aufsteigen des Instrumentes in der Flüssigkeit die Reibung in letzterer leicht überwunden werde, so bestimmt man die Grösse der Erweiterungen passender Weise im Voraus und bemisst aus dieser Grösse und der gewünschten Ausdehnung der Skala die Dimensionen

des Halses, welcher bei der Anfertigung an die obere Erweiterung angeblasen wird. Hierbei ist zu bedenken, dass der Schwerpunkt des Aräometers tiefer liegen muss als der Mittelpunkt des eingetauchten Abschnittes — selbst wenn dieser bei dem maximalen Herausragen des Instrumentes aus der Flüssigkeit kleiner als der herausragende Theil ist — damit sich dasselbe in vertikaler Richtung zu halten vermag. Der Schwerpunkt fällt aber bei unverändertem Gewichte des ganzen Apparates um so höher, je länger der Hals ist. Das Gewicht darf nicht vermehrt werden ohne den Raum zu vergrössern. Hieraus geht hervor, dass es, um die Stabilität des Instrumentes zu wahren, für die Länge des Halses ein Maximum geben muss. Der Kubikinhalt desselben steht je nach der Ausdehnung der anzubringenden Skala zu dem der Erweiterungen in verschiedenem Verhältnisse. Im übrigen giebt das Instrument um so geringere Unterschiede des spezifischen Gewichtes an, ist also um so empfindlicher, je dünner der Hals im Verhältniss zu den Dimensionen des ganzen Apparates ist, da alsdann die Verschiedenheit im Eintauchen sich durch eine verhältnissmässig grosse Längendifferenz am Halse offenbart, und die Theilstriche der anzubringenden Skala weit von einander zu liegen kommen.

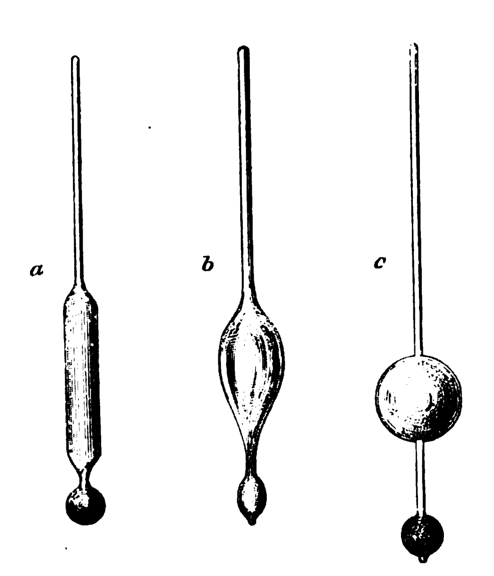


Fig. 266 *a* bis *c*. Gebräuchliche Formen von Skalenaräometern.

Die Skala, meistens auf Papierstreifen gezeichnet, wird in passender Weise im Innern des Halses befestigt. Derjenige Punkt, bis zu welchem das Aräometer im Wasser einsinkt, wird Wasserpunkt (Wasserpass) genannt und derjenige Abschnitt des Instrumentes, welcher sich beim Schwimmen im Wasser unter der Oberfläche befindet, heisst Modul oder Modulus (lat. Dimin. von modus Maass, Länge).

Wenn ein und dasselbe Aräometer sowohl für Flüssigkeiten, welche spezifisch schwerer, als auch für solche, die leichter als Wasser sind, brauchbar sein soll, so muss es im Wasser etwa bis zur Hälfte des Halses einsinken. Man wendet nun aber für gewöhnlich nicht solche Instrumente an, sondern verfertigt, um grössere Genauigkeit zu erzielen und den Hals nicht zu lang machen zu müssen, zweierlei Aräometer, die einen für schwerere, die anderen für leichtere Flüssigkeiten als Wasser. An den ersteren ist der Wasserpunkt der höchste, an den letzteren ist er der tiefste Punkt der Skala.

In Bezug auf die Herstellung der Skala unterscheidet man zwei Arten von Aräometern, solche mit rationeller Skala, bei denen die Anfertigung derselben auf wissenschaftliche Prinzipien gestützt ist, und solche mit willkürlicher Skala, deren Herstellung eine willkürliche Annahme zu Grunde liegt. Zu den Aräometern mit rationeller Skala gehören die Volumeter, Densimeter und Prozentaräometer.

Gay-Lussac's Volumeter.

a) Aräometer mit rationeller Skala. *α*) Volumeter. 1. Das Volumeter von Gay-Lussac. Dasselbe findet sich in dessen Leçons de Physique I. P. Paris 1828, p. 201 beschrieben. Es ist ein Instrument, welches, wie sein Name besagen soll, die Raumtheile für gleiche Gewichtsmengen der verdrängten Flüssigkeit angiebt. Es besteht aus einer cylindrischen Glasröhre (Fig. 267), die derartig mit Quecksilber beschwert ist, dass sie senkrecht zu schwimmen vermag. Der Wasserpunkt bei 15° C. erhält die Marke 100, der Modulus wird in 100 gleiche Theile getheilt, wobei dann der Nullpunkt am unteren Ende der Röhre liegt. Die Theilung wird oberhalb des Wasserpunktes bis 150 oder 200 (in Fig. 267 bis 160) fortgesetzt. Bei völlig cylindrischer Röhre entspricht der Rauminhalt zwischen zwei Theilstrichen $^1/_{100}$ des Volumens der Röhre zwischen 0 und 100, und es sind beim Eintauchen in Wasser die von diesem verdrängten 100 Volumtheile gleich dem Gewichte der Röhre plus dem Gewichte des Quecksilbers. Wenn dasselbe Instrument nun in einer anderen Flüssigkeit bis zum Theilstrich 60 einsinkt, so besagt dies, dass das Gewicht dieser 60 verdrängten Volumtheile ebenfalls dem Gewichte der Röhre plus dem des Quecksilbers gleich ist, mit anderen Worten, dass 60 Raumtheile der betreffenden Flüssigkeit ebensoviel wiegen, wie 100 Raumtheile Wasser. Das spezifische Gewicht dieser Flüssigkeit ist somit $\frac{100}{60} = 1{,}666$.

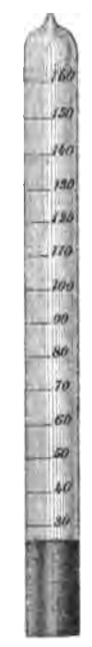


Fig. 267. Volumeter von Gay-Lussac.

Allgemein gesprochen ist für eine Flüssigkeit, in der das Instrument bis zum Theilstrich n einsinkt,

$$\Delta = \frac{100}{n}.$$

Da nun das Volumeter sehr lang und in Folge dessen unhandlich sein würde, wenn es gleichzeitig für Flüssigkeiten, welche schwerer und für solche, welche leichter als Wasser sind, dienen soll, so fertigt

man für jede von diesen ein besonderes Instrument an und giebt ihm meistens die Form Fig. 266*a* (p. 206).

Die Skala wird dann in folgender Weise bestimmt:

a) Für Flüssigkeiten schwerer als Wasser. Man belastet die Aräometerröhre mit so viel Quecksilber, bis der Wasserpunkt für 15° C. in die Nähe des oberen Halsendes fällt. Alsdann bestimmt man die Länge des Modulus. Um dies zu bewerkstelligen, verwandelt man die erweiterten Theile und das zwischen ihnen gelegene Verbindungsstück durch Rechnung in einen Cylinder, welcher mit dem Hals, dessen Verlängerung er vorstellt, im Volumen übereinstimmt. Behufs Ausführung der Rechnung wird der Durchmesser des Halses mit dem Kalibermaass (zu vergl. Bd. I, p. 50) genau abgemessen. Man taucht alsdann das Aräometer mit seinen Erweiterungen bis zur Ansatzstelle des Halses in destillirtes Wasser, welches sich in einem nicht zu weiten Gefässe mit oberer, etwas geneigter Ausflussröhre — man kann auch einen Fractionir- oder Filtrirkolben benutzen — befindet und mit seinem Niveau gerade bis an diese reicht. Das durch den eingetauchten Aräometerabschnitt verdrängte und ausfliessende Wasser wird gewogen. Jedes Gramm giebt ein Kubikcentimeter Volumen. Ist der Halsdurchmesser in Millimetern bekannt, so beträgt der Inhalt seiner Querschnittsfläche $r^2 \pi$ qmm.

Wenn n g Wasser ausgeflossen sind, so ergeben diese eine Röhrenlänge von

$$l = \frac{1000\,n}{r^2 \pi} \text{ mm.}$$

Zu der auf diese Weise gefundenen Millimeterzahl wird die Länge des Halses bis zum Wasserpunkt addirt. Die so erhaltene Summe, durch eine Gerade dargestellt, giebt die in 100 gleiche Theile zu theilende Länge des Modolus. Die Anfertigung der Skala wird auf einem Papierstreifen vorgenommen. Die fertige Skala wird mit ihrer von 100 abwärts meist bis 50 zählenden Bezifferung derartig in den Hals eingesetzt, dass der Theilstrich 100 mit dem Wasserpunkt zusammenfällt.

b) Für Flüssigkeiten leichter als Wasser. Man belastet die Aräometerröhre so, dass der mit 100 zu bezeichnende Wasserpunkt bei 15° C. diesmal am unteren Ende des Halses liegt. Bei der Bestimmung des Modulus und der Anfertigung der Skala verfährt man wie unter a) angegeben wurde. Die Theilung mit ihrer von 100 aufwärts zählenden Bezifferung erstreckt sich vom Wasserpunkt bis gegen das obere Ende des Halses.

Man kann, ohne den Modulus zu kennen, die Skala auch in mehrfacher Art empirisch bestimmen. Eine Art ist folgende: Man ermittelt das sogenannte Normalgewicht des Aräometers, das heisst man untersucht wie viel Gramme das Instrument sammt seiner Belastung wiegt. Darauf senkt man es in Wasser und kennzeichnet den Wasserpunkt. Alsdann vermehrt man das Gewicht um eine in Grammen bekannte Menge Quecksilber, welche man durch den oben noch nicht geschlossenen Hals eingiesst. Durch die Gewichtszunahme stellt sich das Instrument um eine bestimmte Länge tiefer ein. Diese wird in Centimetern gemessen. Man multiplizirt nun das Zulagegewicht mit 100 und dividirt das Produkt durch das Normalgewicht. Der Quotient giebt die Anzahl Grade an, welche in der Länge der durch das Zulagegewicht bedingten Einsenkungsstrecke enthalten sind. Vor dem Gebrauch wird das Zulagegewicht wieder entfernt.

Beispiel: Das Normalgewicht des Aräometers betrug 20 g. Bei einer Vermehrung des Gewichts um 1,6 g sank das Instrument um 3 cm tiefer ein. Die Anzahl der Grade für diese Länge betrug somit:

$$\frac{1,6 \cdot 100}{20} = 8$$

2. Das 100gradige Aräometer von Gay-Lussac. Ein Instrument, welches auch Volumtheile angiebt, ist das 100gradige, ebenfalls von Gay-Lussac in Vorschlag gebrachte Aräometer. Dasselbe ist nichts anderes, als ein in der Skala abgeändertes Volumeter. Der Punkt der Skala, bis zu welchem das Instrument in destillirtem Wasser von 4° C. eintaucht, wird mit Null bezeichnet. Der Modulus ist in 100 gleiche Theile getheilt, und diese werden von 0 ausgehend, sowohl aufwärts als auch abwärts von 0, auf die Röhre aufgetragen. Die unteren oder negativen Grade dienen für dichtere, die oberen oder positiven Grade für weniger dichte Flüssigkeiten als Wasser. Für erstere findet man das spezifische Gewicht nach der Formel:

Gay-Lussac's hundertgradiges Aräometer.

$$\Delta = \frac{100}{100 - n},$$

für letztere nach der Formel

$$\Delta = \frac{100}{100 + n},$$

wenn n wiederum die Anzahl der Grade bedeutet.

Man giebt auch diesem Instrumente die gewöhnliche Form und vertheilt die Skala auf verschiedene Spindeln.

Eine „Anleitung zur Konstruktion des hundertgrädigen Aräometers“ von Francoeur findet sich in deutscher Uebersetzung in Dingler's polytechnischem Journal 1842, Bd. 85, p. 349 ff., mit Taf. VI, Fig. 7 u. 8.

Louis Benjamin Francoeur wurde am 16. August 1773 in Paris geboren und starb daselbst am 15. Dezember 1849, nachdem er zuletzt als Professor der Mathematik an der Faculté des sciences in Paris thätig war.

L. B. Francoeur 1773—1849.

3. Das Aräometer von Brix. Im Ministerial-Blatt für die gesammte innere Verwaltung in den Kgl. Preuss. Staaten, herausg. im Bureau des Ministeriums des Innern, 27. Jahrg., Berlin 1866, Verlag des Kgl. Zeitungs-Comptoirs, p. 109 bis 111 befindet sich unter Nr. 125 ein Ministerialerlass des Grafen von Itzenplitz, Ministers für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten, vom 31. Mai 1866, überschrieben: „Cirkularverfügung an sämmtliche Kgl. Regierungen, das Kgl. Polizei-Präsidium hier, sowie an die kaufmännischen Korporationen, betreffend die Einrichtungen von Aräometern.“

Aräometer von Brix.

Das durch diese Verfügung in Preussen amtlich eingeführte Aräometer hat Brix hergestellt. Es ist ein Volumeter, dessen Modulus in 400 gleiche Theile getheilt wurde. Der Wasserpunkt bei der Temperatur + 12,5° R. ist der Nullpunkt der Skala. Vom Nullpunkt an geht die Theilung als positiv für weniger dichte Flüssigkeiten aufwärts, als negativ für dichtere abwärts bis zu 200 Graden. Aus den früher erwähnten Gründen wird die Skala auf zwei sich

Adolf Ferdinand Wenceslaus Brix, geb. 20. Febr. 1798 in Wesel, Lehrer d. Mathem. an d. Kgl. Bauakad. u. Direktor d. Normal-Aichungs-Komm., gest. 14. Febr. 1870 in Charlottenburg.

gegenseitig ergänzende Instrumente vertheilt und jedes von diesen kann, um grössere Intervalle zu erhalten, aus zwei oder mehr Spindeln bestehen, deren stufenweise aufeinander folgende Skalen sich zu einer fortlaufenden Skala ergänzen. Für das Brix'sche Aräometer gilt die Formel: $\Delta = \frac{400}{400 \pm n}$.

Sowie man an der Volumeterskala, wenn man in die Gleichung:

$$\Delta = \frac{100}{n}$$

für n der Reihe nach die verschiedenen Angaben des Instrumentes einsetzt, die spezifischen Gewichte erhält, so kann man auch umgekehrt aus

$$n = \frac{100}{\Delta}$$

die Punkte der Volumeterskala finden, welche den spezifischen Gewichten entsprechen. Berechnet man auf diese Weise für die spezifischen Gewichte, unter Berücksichtigung von zwei Dezimalstellen, die Theile der Skala, so erhält man:

für	das	spezifische	Gewicht	2,—	als	Theil	des	Maassstabes 50,—
„	„	„	„	1,99	„	„	„	„ 50,25
„	„	„	„	1,90	„	„	„	„ 52,63
„	„	„	„	1,85	„	„	„	„ 54,05
„	„	„	„	1,80	„	„	„	„ 55,55
„	„	„	„	1,75	„	„	„	„ 57,14
„	„	„	„	1,70	„	„	„	„ 58,82
„	„	„	„	1,66	„	„	„	„ 60,42

u. s. w.

Hieraus ergiebt sich, dass eine Skala, welche die Dichten anzeigt, die um gleiche Differenzen fortschreiten sollen, nicht gleiche Intervalle des Maassstabes besitzen kann, sondern dass die Theilstriche vielmehr von unten nach oben immer weiter auseinanderrücken. Dieser Fall tritt ein bei den:

Densimeter.

β) Densimetern (lat. densus dicht) oder den Aräometern nach spezifischem Gewicht. Bei diesen Instrumenten bildet die ganze Reihe der Grade eine durch Linien ausgedrückte geometrische Proportion, die sich wieder auf den Satz gründet: Die spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten verhalten sich umgekehrt wie ihre Volumina.

Zur Anfertigung der Densimeterskala hat zuerst Brisson in seinem Dictionnaire raisonné de toutes les parties de la physique, Paris 1790, T. I, Art. Aréomètre, p. 144, nach den Angaben de Montigny's: Sur la construction des Aréomètres etc., Mém. Par. 1768, eine sinnreiche und genaue, aber auch äusserst mühsame Methode angewandt. Dieselbe besteht im Wesentlichen darin, dass die Graduirung durch künstliche Veränderungen des absoluten Gewichtes des Aräometers bei dessen Eintauchen in reinem Wasser von 14° R. vorgenommen wurde. Das ebenso genaue als bequeme geometrische Verfahren, welches heute bei der Herstellung der Skalen angewandt wird und dessen schon bei dem Volumeter gedacht wurde, hat G. G. Schmidt ersonnen und in seinem Aufsatze: Ueber die vortheilhafteste Einrichtung eines Aräometers mit einer Skala etc. in Gren's Neuem Journal der Physik 1796, Bd. 3, Heft 2, p. 117 ff., 1. Taf., beschrieben.

Mathurin Jacques Brisson wurde am 30. April 1723 in Fontenay-le-Comte geboren und starb am 23. Juni 1806 in Poissy. Er war zuletzt Professor der Physik an der Ecole centrale und dem Lycée Bonaparte in Paris.

M. J. Brisson 1723—1806.

Etienne Mignot de Montigny wurde am 15. Dezember 1714 in Paris geboren und starb am 6. Mai 1782 daselbst. Er bekleidete das Amt eines kgl. Raths und Schatzmeisters von Frankreich.

E.M.deMontigny 1714—1782.

Georg Gottlieb Schmidt wurde am 17. Juni 1768 in Zwingenberg geboren, war zuletzt Professor der Mathematik und Naturgeschichte in Giessen und starb daselbst am 8. Oktober 1837.

G. G. Schmidt 1768—1837.

Nach Schmidt wird die in der bekannten Weise ermittelte Moduluslänge durch die Gerade AB (Fig. 268 auf p. 212) dargestellt, in welcher B den Wasserpunkt bezeichnet. Darauf zieht man durch den Punkt A senkrecht zu AB eine Gerade CE von beliebiger Länge und trägt auf derselben von A nach C so viele unter sich gleiche, im übrigen beliebig grosse Theile ab, als die gesammte Skala des Aräometers Grade enthalten soll, hundert, wenn sie Hundertstel, tausend, wenn sie Tausendstel angeben soll; in der Fig. 268 sind nur Zehntel dargestellt. Dieselbe Theilung setzt man nach der anderen Seite von A auf AE fort. Durch die auf diese Weise erhaltenen Theilpunkte $a\ b\ c$ bis o zieht man Parallelen zu AB, wodurch man auf einer durch $B \parallel CE$ gelegten Geraden XY die Schnittpunkte $a_1\ b_1\ c_1$ bis o_1 erhält. Diese verbindet man sämmtlich mit dem Punkte C und verlängert die Verbindungslinien auf der Seite BX so weit, dass sie die Linie BD, welche den Hals des Instrumentes oberhalb des Wasserpunktes vorstellt, in a_2, b_2 u. s. w., schneiden.

Die Theile auf der Linie CE und somit auf XY stellen die spezifischen Gewichte dar, in dem Punkte C mit Null anfangend. $Ci = 0{,}10$; $Ch = 0{,}20$; $Cg = 0{,}30\ldots$; $CA = 1{,}00$; $Ck = 1{,}10\ldots$ u. s. w.

Die Theilpunkte, welche durch die von C ausgehenden Strahlen auf der Linie ABD gekennzeichnet werden, geben die Aräometergrade an.

Zur Prüfung der Skala wird dieselbe in den Aräometerhals in der Art eingeschoben, dass der Punkt B mit dem Wasserpunkt zusammenfällt. In Flüssigkeiten vom spezifischen Gewicht 0,90, 0,80 u. s. w. sinkt das Instrument dann bis a_2, b_2 u. s. w., in solchen, deren spezifisches Gewicht 1,10, 1,20 u. s. w. beträgt, erfolgt das Einsinken bis k_2, l_2 u. s. w. Nach dem definitiven Einsetzen einer derartig angefertigten Skala wird das Aräometer geschlossen und ist zum Gebrauche bereit.

Um grössere Genauigkeit zu erzielen, vertheilt man auch bei den Densimetern die Angaben des spezifischen Gewichtes auf mehrere Spindeln.

So giebt es beispielsweise Normalinstrumente für das spezifische Gewicht 0,700 bis 1,840, bei denen die Angaben auf neunzehn Spindeln vertheilt sind. Gewöhnlich liegt dem Satze eine Orientirungsspindel mit Thermometer bei.

Ein besonderes Densimeter hat E. Fleischer konstruirt. Seine hierauf bezügliche Mittheilung: „Ueber graduirte Aräometer nach spezifischem Gewicht“ findet sich in Dingler's polytechnischem Journal 1876, Bd. 222, p. 159 ff. Das Instrument ist in Grade getheilt, und diese sind in der Weise angefertigt, dass man nur bei dem für schwerere Flüssigkeiten bestimmten Apparat die Zahl 1 mit folgendem Komma, bei dem für leichtere Flüssigkeiten die Zahl 0 mit folgendem

Komma vor die Gradzahl zu setzen braucht, um das spezifische Gewicht zu erhalten.

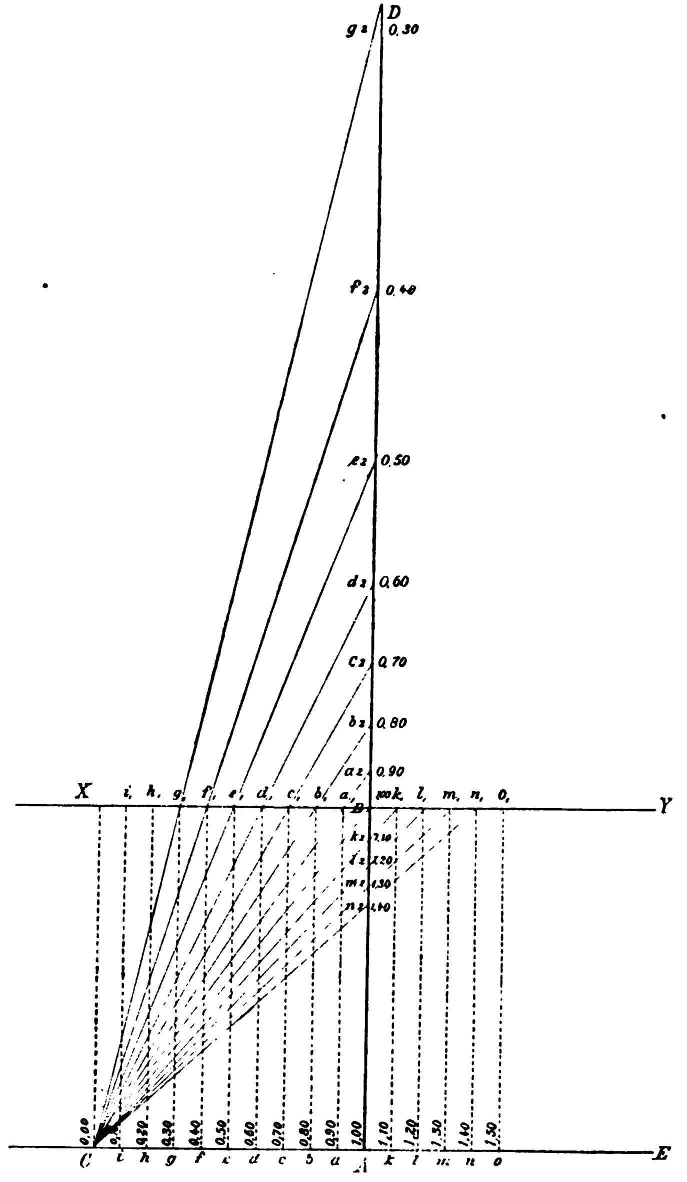


Fig. 268. Herstellung der Densimeterskala.

E. Janisch hat in Grunert's Archiv für Mathematik und Physik, 2. Reihe, 9. Theil, 1890, p. 332, eine mathematische Untersuchung über solche Densimeter

angestellt, bei welchen gleichen Dichteintervallen gleiche Theilstrichabstände entsprechen. Die Abhandlung hat lediglich theoretisches Interesse.

Densimeter, deren Skala zwischen engen Grenzen liegt, finden für solche Flüssigkeiten Anwendung, bei welchen das spezifische Gewicht keinen bedeutenden Schwankungen unterworfen ist. Zu ihnen gehört das in der medizinischen Chemie und der ärztlichen Praxis eine nicht unbedeutende Rolle spielende Urometer (gr. τὸ οὖρον der Harn). Das spezifische Gewicht des menschlichen Harnes (zu vergl. Bd. I, p. 793 ff.) schwankt im Mittel zwischen 1,015 und 1,025. Das nach reichlichem Wassergenuss eintretende Dichte-Minimum des in bedeutender Menge (Polyurie [πολύς viel]) abgesonderten Harnes beträgt 1,002. Das nach starkem Schweiss und bei heftigen Diarrhöen, bei Erbrechen und Fieber sich ergebende Dichte-Maximim einer spärlichen Harnmenge (Oligurie [ὀλίγος wenig]) ist 1,040. Beim Neugeborenen ist das spezifische Gewicht niedrig, 1,007 bis 1,005. Ein Urometer muss daher die spezifischen Gewichte zwischen 1 und 1,040 genau abzulesen gestatten, dabei darf es nicht zu gross sein, damit es auch bei geringer Harnmenge gebraucht werden kann. Um mit derartigen Instrumenten eine grösstmögliche Genauigkeit zu erzielen, vertheilt man die zwischen den genannten Grenzen liegenden Aräometergrade zweckmässig noch auf zwei Spindeln. Die eine umfasst dann etwa die Zahlen 1,000 bis 1,020, die andere die Zahlen 1,020 bis 1,040, wodurch die Möglichkeit gegeben ist, noch Bruchtheile eines Grades abzulesen. Da die Instrumente nur bei derjenigen Temperatur, für welche sie konstruirt sind, genaue Resultate geben, so ist es erforderlich, den zu untersuchenden Harn auf diese Temperatur zu bringen. — Urometer wurden von Bouchardat (Bouchardat et Quevenne: Du Lait. Paris 1857, Anmerkung auf p. 34), C. Neubauer und J. Vogel (Analyse des Harns, Wiesbaden 1858, p. 128 und spätere Auflagen) und Heller angegeben.

Urometer.

Bouchardat wurde 1806 in l'Isle-sur-Serain (Yonne) geboren und war Pharmacien en chef am Hôpital Saint-Antoine und Hôtel-Dieu in Paris, zuletzt Professor der Hygiene daselbst. Er starb am 7. April 1886 in Paris. (L. Figuier: l'année scientifique et industr. 30e Année 1887, p. 568/71).

Bouchardat 1806 - 1886.

Karl Theodor Ludwig Neubauer wurde am 26. Oktober 1830 in Lüchow (Hannover) geboren und war Vorstand der agrikultur-chemischen Versuchsstation in Wiesbaden. Er starb am 2. Juni 1879 daselbst.

Neubauer 1830—1879.

Julius Vogel wurde am 25. Juni 1814 in Wunsiedel geboren, war Professor der Medizin in Giessen und Halle und starb am 7. November 1880 in Halle.

J. Vogel 1814 - 1880.

Johann Florian Heller wurde am 4. Mai 1813 in Iglau (Mähren) geboren, er war als physiologischer und pathologischer Chemiker Professor am allgemeinen Krankenhause und Docent an der Universität in Wien, wo er am 21. November 1871 starb.

J. F. Heller 1813—1871.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Harnes kann dazu dienen, die Menge der festen Stoffe, welche mit dem Harne den Körper verlassen, zu ermitteln, falls die in einer bestimmten Zeit abgesonderte Harnmenge bekannt ist. Diese beträgt in 24 Stunden im Allgemeinen beim Manne 1000 bis 1500 ccm, bei der Frau 900 bis 1200 ccm. Morgens zwischen 2 und 4 Uhr liegt ein Minimum, in den ersten Stunden nach dem Erwachen und in Zeiträumen von 1 bis 2 Stunden nach den Mahlzeiten finden sich Maxima der Absonderung. Bei grosser Sommerwärme kann die tägliche Harnmenge auf 500 bis 400 ccm sinken, nach reichlicher Flüssigkeitsaufnahme kann sie auf 3000 ccm steigen. Die Menge der in 24 Stunden abgesonderten festen Stoffe ist, namentlich bei gleichmässiger Lebensweise, ziemlich beständig. Im Uebrigen verhält sich der Prozentgehalt des Harnes an festen Stoffen im Allgemeinen umgekehrt wie die Harnmenge.

Eine wichtige Ausnahme von dieser Regel findet sich jedoch bei der Zuckerharnruhr (Diabetes mellitus). Bei dieser Krankheit kann trotz der sehr grossen Menge des gelassenen Harnes dessen spezifisches Gewicht, wegen des bedeutenden Zuckergehaltes, hoch sein.

In gewissen Fällen von Eiweissharnen (Albuminurie) kann trotz einer bestehenden Oligurie ein niedriges spezifisches Gewicht des Harnes gefunden werden.

Durchschnittlich berechnet sich der Gehalt des Harnes an festen Stoffen in 24 Stunden zu 60 g. Mit annähernder Genauigkeit lässt sich dieser Gehalt aus dem spezifischen Gewichte des Harnes erhalten, wenn man die 2. und 3. Dezimalstelle der das spezifische Gewicht angebenden Zahl mit 2,33 (Häser's Koeffizient) multiplizirt. Das Produkt ergiebt die Menge der festen Stoffe in 1000 ccm Harn.

Gesetzt, man habe eine 24stündige Harnmenge von 1050 ccm mit dem spezifischen Gewichte 1,021, dann beträgt die Menge an festen Stoffen $21 \times 2{,}33$ $48{,}93$ und $\frac{48{,}93 \times 1050}{1000} = 51{,}376$. Der Harn enthält also in diesem Falle 48,93 p. m. feste Stoffe und die Tagesmenge der letzteren beträgt 51,376 g. — Unter physiologischen Bedingungen hat namentlich der Gehalt an Chlornatrium und Harnstoff auf die Harndichte Einfluss. Da das spezifische Gewicht des Chlornatriums 2,14 (zu vergl. p. 195), das des Harnstoffes 1,32 beträgt, so wird die Berechnung des Gehaltes an festen Stoffen aus dem spezifischen Gewichte eines Harnes um so weniger genau ausfallen, je abweichender das relative Mengenverhältniss dieser beiden Stoffe von der Norm ist. Nicht anders wird es sein, wenn ein an normalen Bestandtheilen ärmerer Harn reichliche Mengen fremder Stoffe, wie Eiweiss oder Zucker, enthält.

Rousseau (Société centrale de Produits chimiques, Ancienne Maison Rousseau 42 & 44 Rue des Écoles, Paris) hat ein Densimeter angefertigt, welches zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten geeignet ist, die nur in so geringer Menge erhaltbar sind, dass ein Aräometer in sie nicht eingelassen werden kann. Es kommt namentlich für animalische Sekrete wie Speichel, Schleim, Magensaft, Galle etc. zur Anwendung. Am oberen Ende des Halses befindet sich ein kleines Gefäss, welches 1 ccm der zu untersuchenden Flüssigkeit zu fassen vermag. Der Wasserpunkt, welcher am unteren Ende des Halses

liegt, ist mit Null bezeichnet, derjenige Punkt, bis zu welchem das Instrument in Wasser eintaucht, wenn man in das obere Gefäss 1 g legt, trägt die Marke 100. Die Strecke zwischen beiden Marken enthält 100 gleiche Grade, und die Theilung erstreckt sich noch über 100 hinaus, wenn das Instrument für Flüssigkeiten, die dichter als Wasser sind, dienen soll. Wenn man in den oberen Behälter 1 ccm der zu untersuchenden Flüssigkeit giesst und n den Grad bedeutet, bis zu welchem alsdann das Instrument einsinkt, so ergiebt der Quotient $\frac{n}{100}$ das spezifische Gewicht der angewandten Substanz. Der Preis des Instrumentes beläuft sich, je nach der Anfertigung, auf 4,50 bis 8,50 Francs.

Prozentaräometer zur Bestimmung des spez. Gew. von Flüssigkeiten.

γ) Prozentaräometer. Im Laboratorium und im täglichen Leben handelt es sich häufig darum, den Gehalt gewisser Flüssigkeiten an bestimmten Stoffen zu ermitteln. Je nach dem Mischungsverhältniss ist das spezifische Gewicht solcher Flüssigkeiten verschieden.

Eine Salzlösung ist um so viel spezifisch schwerer, je mehr Salz sie in sich aufgelöst enthält, weingeistige Flüssigkeiten sind um so leichter, je mehr Alkohol darin enthalten ist. Der Bequemlichkeit wegen hat man für solche Flüssigkeiten, welche in der Praxis häufig vorkommen, und deren Brauchbarkeit und Handelswerth von ihrem Gehalte abhängen, zur Ermittelung des letzteren besondere Instrumente konstruirt, deren Skalen sich innerhalb gewisser Grenzen bewegen und welche den Gehalt der Flüssigkeit an gelösten oder beigemengten Stoffen in Prozenten angeben. Derartige Instrumente heissen Prozentaräometer. Zu ihnen gehören die Alkoholometer und Saccharometer, Säure-, Alkali- und Salzspindeln und andere. Die Lactodensimeter (Milchprober) sind meist nach spezifischem Gewicht getheilt.

Die genannten Instrumente sind für eine bestimmte Temperatur eingerichtet. Um genaue Resultate zu erzielen, ist bei den Versuchen entweder die betreffende Normaltemperatur, die sich meistens leicht erzielen lässt, einzuhalten, oder man entnimmt den Werth der Aräometerangabe für die gerade herrschende Temperatur besonderen Tabellen. Um den gleichzeitigen Gebrauch von Aräometer und Thermometer für die Praxis zu veinfachen, kombinirt man beide. Dies geschieht, indem man beim Anfertigen des Instrumentes die Thermometerskala innerhalb der kolbenartigen Erweiterung der Spindel anbringt, wobei die Quecksilberkugel des Thermometers gleichzeitig mit zur Belastung des Instrumentes dient. Für Milchwaagen (Milchspindeln) hat sich

diese Einrichtung als unpraktisch erwiesen, weil man bei der Undurchsichtigkeit der Milch die Spindel jedesmal erst aus der Milch herausnehmen und abwischen muss, um die Temperaturgrade ablesen zu können, wobei sich die Quecksilbersäule natürlich verändert und unrichtige Temperatur angiebt. Bei neueren Milchwaagen ist daher das Thermometer so eingerichtet, dass die Skala am oberen Abschnitt des Halses liegt (Fig. 270 p. 226), so dass man die Temperaturgrade direkt vor Augen hat.

Etymologisches über das Wort Alkohol.

1. Alkoholometer. Das Wort Alkohol stammt nach der Ansicht einiger Forscher von einem chaldäischen Ausdruck, welcher brennen bedeutet. Die häufigere Meinung ist dagegen, dass es aus dem Arabischen herzuleiten sei und zwar aus dem Artikel „al" und „kohhl" oder „kuhhl", womit pulverisirte Stoffe, insbesondere das reine Spiessglanzpulver, bezeichnet wurden, welches als Augenschminke diente. In der Bedeutung: Weingeist findet es sich wohl zuerst bei Libavius in seiner 1595 erschienenen Alchemia.

Historisches über Alkohol.

Bei Arnoldo von Villanova, der in seiner Schrift: De conservanda juventute über den Weingeist spricht, heisst derselbe immer aqua ardens oder aqua vitae. Man vergl. Opera omnia Arnoldi Villanovani Basel 1585, p. 1699. Die Kenntniss des Weingeistes als wirksames Prinzip des Weines reicht bis ins Alterthum zurück. Aristoteles (Meteorolog. Edit. Didot, t. III, p. 622, l. 23), wusste, dass im Wein ein brennbarer Stoff enthalten sei. Plinius (Hist. nat. L. XIV, 6) giebt an, dass der Falernerwein besonders durch seine Entzündlichkeit ausgezeichnet sei. Zur Geschichte des Alkohols vergl. man: Kopp: Geschichte der Chemie, Braunschweig, Vieweg 1847, Bd. 4, p. 273 ff. und Berthelot: Sur la découverte de l'alcool, Annales de chim. et de phys. 1891, 6. Sér., T. 23, p. 469.

Arnoldus de Villanova 1235—1312.

Arnold von Villanova oder Arnold Bachuone wurde 1235 geboren, ob in Villeneuve (Provence) oder in Villanova (Catalonien) ist unsicher. Er war Alchemist. Wegen seiner astrologischen Lehren als Ketzer aus verschiedenen Ländern ausgewiesen, fand er endlich (1296) Schutz unter Friedrich II. in Sicilien. Von diesem 1312 zur Heilung des Papstes Clemens V. nach Avignon geschickt, fand er beim Scheitern des Schiffes den Tod in den Wellen.

Anwendung der Alkoholometer.

Um den Gehalt einer weingeistigen Flüssigkeit an Alkohol zu ermitteln, dient das Alkoholometer. Dasselbe sinkt, weil das spezifische Gewicht des Alkohols geringer ist, als das des Wassers, in alkoholreichen Mischungen tiefer ein, als in alkoholarmen. Sein Einsinken wird aber auch durch die Temperatur des zu untersuchenden Gemisches beeinflusst, weil dessen Dichte mit steigender, beziehungsweise sinkender Temperatur ab- und zunimmt und zwar schneller als das Volumen des Instrumentes sich ändert. Mit jeder Temperaturerhöhung sinkt das Instrument tiefer ein, Erniedrigung der Temperatur bewirkt weniger tiefes Einsinken. Je höher also die Temperatur steigt, um so grösser erscheint die durch das Instrument angegebene Spiritusstärke. Um den Einfluss der verschiedenen Temperaturen auszuschliessen, nimmt man bei den Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der Dichte und der prozentischen Zusammen-

setzung von Alkoholmischungen eine bestimmte, die sogenannte Normaltemperatur an. Die bei letzterer am Alkoholometer abgelesene Stärke ist die wahre Stärke, die Angabe des Instrumentes bei irgend einer anderen Temperatur heisst die zu dieser gehörige scheinbare Stärke.

Das spezifische Gewicht des reinen, sogenannten absoluten oder wasserfreien Alkohols, auf Wasser als Einheit bezogen, ist 0,7946. Gemische von Wasser und Alkohol müssen also ein spezifisches Gewicht haben, welches zwischen 1 und 0,7946 liegt, und welches sich mehr der einen oder der anderen Grenze nähert, je nachdem in dem Gemische das Wasser oder der Alkohol vorherrscht. Das spezifische Gewicht der Mischung weicht aber von dem arithmetischen Mittel ab, welches die Berechnung ergiebt, sodass es beispielsweise bei einem Gemisch von 50 Raumtheilen Wasser und 50 Raumtheilen Alkohol nicht etwa, wie man erwarten sollte, in der Mitte der spezifischen Gewichte beider liegt. Dies kommt daher, weil bei dem Mischen dieser beiden Flüssigkeiten, wie in Bd. I auf p. 473 angegeben wurde, eine Kontraktion des Volumens eintritt.

Das spezifische Gewicht eines solchen Gemisches ist also in Wirklichkeit grösser als es durch Rechnung gefunden wird. Da ein Gesetz, nach welchem die Kontraktion vor sich geht, trotz eingehender Untersuchungen, wie sie unter anderen von Mendelejeff (Ueber die Verbindungen des Alkohols mit Wasser, Ann. d. Pys. u. Chem., Bd. 138, 1869, p. 103 ff. und 230 ff.) vorliegen, nicht erkannt worden ist, so musste die Kontraktion für die verschiedensten Gemische und zwar, um daraus praktischen Nutzen zu ziehen, für verschiedene Temperaturen durch Versuche ermittelt werden. Diese grosse und mühevolle Arbeit hat, auf Befehl der englischen Regierung, seiner Zeit Gilpin unternommen; seine Resultate hat er in den Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1794, Part. 2, mitgetheilt. Später hat Tralles „Untersuchungen über die spezifischen Gewichte der Mischungen mit Alkohol und Wasser“ angestellt, worin er die Angaben Gilpin's vervollständigte. Seine Mittheilung findet sich in Gilbert's Annalen der Physik 1811, Bd. 38, p. 349 ff.

Johann Georg Tralles, geb. 15. Oktbr. 1763 in Hamburg, Prof. der Math. u. Physik anfangs in Bern, seit 1810 in Berlin, gest. 15. od. 19. Nov. 1822 in London.

Die folgende Tabelle enthält in der ersten Spalte die spezifischen Gewichte, welche nach den Gilpin-Tralles'schen Versuchen den Mischungen von Alkohol und Wasser, deren Volumprozente sich in der zweiten Doppelspalte finden, bei einer Normaltemperatur von $12^4/_9{}^0$ R. oder $15^5/_9{}^0$ C. zukommen. Ein Blick auf diese Tabelle lässt erkennen, dass die Summe beider Volumprozente grösser ist als 100. Der Ueberschuss beider minus 100 giebt die in der dritten Spalte verzeichnete Grösse der Kontraktion an. Dieselbe wächst mit zunehmender Stärke des Alkohols, erreicht bei 54 Prozent Alkohol ihr Maximum und nimmt dann wieder ab. Der Ausdruck Alkohol von 60 Volumprozent (%) besagt also, dass aus einer Menge desselben, welche bei $12^4/_9{}^0$ R. oder $15^5/_9{}^0$ C. 100 Raumtheile ausfüllt, 60 Raumtheile Alkohol von derselben Temperatur erhalten werden können, dagegen besagt dieser Ausdruck durchaus nicht, dass der betreffende Alkohol durch Vermischung von 60 Volumina mit 100 — 60 = 40 Volumina Wasser unter Einhaltung derselben Temperatur hergestellt werden könne, sondern dazu bedürfte es wegen der Kontraktion 43,664 Volumina Wasser.

Tafel der spezifischen Gewichte und der zugehörigen Mischungsverhältnisse weingeistiger Flüssigkeiten für die Normaltemperatur $12^{4}/_{9}{}^{0}$ R. = $15^{5}/_{9}{}^{0}$ C.

Spez. Gew. d. Weingeistes bei $12^{4}/_{9}{}^{0}$ R.	Volumprozente bei $12^{4}/_{9}{}^{0}$ R.		Kontraktion	Spez. Gew. d. Weingeistes bei $12^{4}/_{9}{}^{0}$ R.	Volumprozente bei $12^{4}/_{9}{}^{0}$ R.		Kontraktion
	Alkoh.	Wasser			Alkoh.	Wasser	
1,0000	0	100,000	0,000	0,9323	51	52,705	3,705
0,9985	1	99,055	055	9303	52	51,711	711
9970	2	98,111	111	9283	53	50,716	716
9956	3	97,176	176	9263	54	49,722	722
9942	4	96,242	242	9242	55	48,717	717
9928	5	95,307	307	9221	56	47,712	712
9915	6	94,382	382	9200	57	46,708	708
9902	7	93,458	458	9178	58	45,693	693
9890	8	92,543	543	9156	59	44,678	678
9878	9	91,629	629	9134	60	43,664	664
9866	10	90,714	714	9112	61	42,649	649
9854	11	89,799	799	9090	62	41,635	635
9843	12	88,895	895	9067	63	40,610	610
9832	13	87,990	990	9044	64	39,586	586
9821	14	87,086	1,086	9021	65	38,561	561
9811	15	86,191	191	8997	66	37,526	526
9800	16	85,286	286	8973	67	36,492	492
9790	17	84,392	392	8949	68	35,457	457
9780	18	83,497	497	8925	69	34,423	423
9770	19	82,603	603	8900	70	33,378	378
9760	20	81,708	708	8875	71	32,333	333
9750	21	80,813	813	8850	72	31,289	289
9740	22	79,919	919	8825	73	30,244	244
9729	23	79,014	2,014	8799	74	29,190	190
9719	24	78,119	119	8773	75	28,135	135
9709	25	77,225	225	8747	76	27,080	080
9698	26	76,320	320	8720	77	26,016	016
9688	27	75,426	426	8693	78	24,951	2,951
9677	28	74,521	521	8665	79	23,877	877
9666	29	73,617	617	8639	80	22,822	822
9655	30	72,712	712	8611	81	21,747	747
9643	31	71,797	797	8583	82	20,673	673
9631	32	70,883	883	8555	83	19,598	598
9618	33	69,958	958	8526	84	18,514	514
9605	34	69,034	3,034	8496	85	17,419	419
9592	35	68,109	109	8466	86	16,324	324
9579	36	67,184	184	8436	87	15,230	230
9565	37	66,250	250	8405	88	14,125	125
9550	38	65,305	305	8373	89	13,011	011
9535	39	64,361	361	8339	90	11,876	1,876
9519	40	63,406	406	8306	91	10,751	751
9503	41	62,451	451	8272	92	9,617	617
9487	42	61,497	497	8237	93	8,472	472
9470	43	60,532	532	8201	94	7,318	318
9452	44	59,558	558	8164	95	6,153	153
9435	45	58,593	593	8125	96	4,968	0,968
9417	46	57,618	618	8084	97	3,764	764
9399	47	56,644	644	8041	98	2,539	539
9381	48	55,669	669	7995	99	1,285	285
9362	49	54,685	685	7946	100	0,000	0,000
9343	50	53,700	700				

Alkoholometer nach Volumprozenten.

Wenn man diejenigen Punkte an einem Aräometer kennzeichnet, welche dem spezifischen Gewichte 0,794 bis 1 entsprechen, und neben sie die Zahlen 100 bis 0 setzt, so besitzt man ein Alkoholometer, an welchem man, die Normaltemperatur vorausgesetzt, unmittelbar ablesen kann, wieviel Volumprozente Alkohol sich in einer Mischung desselben mit Wasser befinden.

Bei den in Deutschland meistens gebräuchlichen Alkoholometern von Tralles ist der am unteren Ende der Skala gelegene Wasserpunkt mit 0, der am oberen Ende sich befindende Theilstrich, bis zu welchem das Instrument in absolutem Alkohol einsinkt, mit 100 bezeichnet. Die Grade zwischen beiden Marken rücken nach der Null zu immer näher an einander. Der Genauigkeit wegen verlegt man die verschiedenen Abtheilungen der Skala auf drei oder mehrere Instrumente.

In Frankreich ist ein von Gay-Lussac vorgeschlagenes Alkoholometer eingeführt, welches sich von dem Tralles'schen dadurch unterscheidet, dass die Normaltemperatur auf 15° C. festgesetzt wurde. Die Unterschiede in der Angabe beider Instrumente betragen etwa 1/6 % bis 1/2 %, Grössen, die für praktische Zwecke vernachlässigt werden können.

Tralles beschrieb sein Alkoholometer am angegebenen Orte p. 408 ff., Gay-Lussac das seinige in einer kleinen Schrift: Instruction pour l'usage de l'Alcoomètre centésimal, Paris, Collardeau 1824.

Wenn der zu untersuchende Weingeist eine andere Temperatur besitzt als diejenige ist, für welche die Angaben des Alkoholometers gelten, so bedürfen die letzteren einer Korrektion, welche aus besonderen Tabellen entnommen werden kann. Solche Reduktionstabellen werden jedem käuflichen und amtlich geprüften Alkoholometer beigegeben.

Das Volumeter und Densimeter kann das Alkoholometer ersetzen, wenn man nur über eine Tabelle verfügt, die den Alkoholgehalt angiebt, welcher den verschiedenen spezifischen Gewichten entspricht.

Um den Alkoholgehalt irgend welcher spirituösen Getränke, beispielsweise Wein, zu ermitteln, darf man das Alkoholometer nicht direkt in diese eintauchen, da der Gehalt derselben an Salzen, Zucker, Farbstoffen und anderen Körpern das spezifische Gewicht beeinflusst. Man kann aber aus derartigen Flüssigkeiten eine Mischung von Alkohol und Wasser erhalten, wenn man sie der Destillation (zu vergl. Bd. I, p. 882 ff) unterwirft. Um für die Praxis mit genügender Genauigkeit den Gehalt eines Weines oder anderer spirituöser Flüssigkeiten an Alkohol zu ermitteln, destillirt man eine bestimmte Quantität derselben, nämlich soviel wie der Glascylinder *a* (Fig. 269 p. 220) bis zur Marke 1 fasst, aus dem gläsernen Destillirkolben *k*. Weinen, die beim Erhitzen leicht schäumen, fügt man eine Messerspitze voll Tannin zu.

Der Dampf verdichtet sich in dem Schlangenrohr des mit kaltem Wasser gefüllten Kühlers *l*. Man sammelt das Destillat in dem vorher gereinigten Glascylinder *a* bis zur Marke $^1/_2$ und fügt, um das ursprüngliche Volumen wieder herzustellen, so viel Wasser hinzu, bis das Flüssigkeitsniveau genau bis zur Marke 1 reicht. Das genaue Anfüllen des Gylinders *a* besorgt man am besten mit einer Pipette *p*, welche Flüssigkeiten tropfenweises Ausfliessen erlaubt. Nach dem Durchschütteln und der Entfernung etwaiger Luftblasen senkt man ein Thermometer und das Alkoholometer in die Flüssigkeit. Ersteres wird, falls es nicht mit dem Alkoholometer vereinigt ist, in die rinnenartige Ausbuchtung des Glascylinders gehängt, um das letztere in seinen Bewegungen nicht zu beeinträchtigen. Die Korrektur der Alkoholometerablesung bei nicht vorhandener Normaltemperatur bewerkstelligt man nach einer dem Apparate beigegebenen Tabelle. Ist man nicht im Besitze einer solchen Tabelle, so kann man den Alkoholgehalt x annähernd nach Francoeur's Gleichung berechnen:

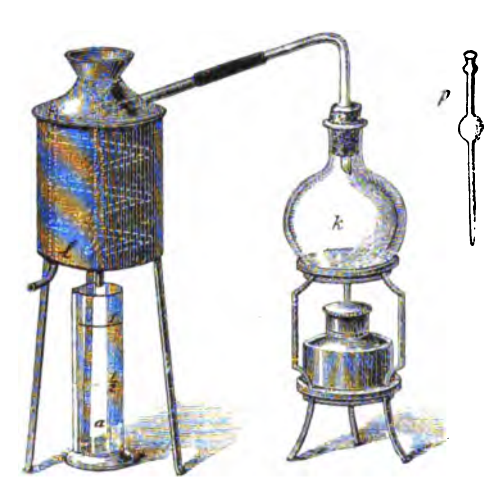


Fig. 269. Apparat zur Bestimmung des Alkoholgehaltes des Weines.

$$x = n \pm m . t$$

In dieser Gleichung ist n der abgelesene Alkoholometergrad, m ein konstanter Faktor nämlich 0,4 und t die Temperaturdifferenz zwischen der Normaltemperatur (15° C. für Gay-Lussac's Alkoholometer, $12^4/_9$° R. = $15^5/_9$° C. für das Alkoholometer von Tralles) und der während der Untersuchung abgelesenen Temperatur. Wenn letztere über der Normaltemperatur liegt, so wird das Produkt mt von n subtrahirt, liegt sie unter ihr, so wird es zu n addirt.

Beispiel I: n = 24, Normaltemperatur 15° C., abgelesene Temperatur = 20°, also t = 5°; folglich mt = 2 und x = 24 — 2 = 22.

Beispiel II: n = 17, Normaltemperatur 15° C., abgelesene Temperatur 13°, also t = 2, folglich m . t = 0,8 und x = 17 + 0,8 = 17,8.

Es ist auch möglich, den Alkoholgehalt einer gegohrenen Flüssigkeit mit Hülfe der sogenannten Attenuationslehre zu berechnen.

Während der Gährung zuckerhaltiger Flüssigkeiten (zu vergl. Bd. I, p. 302) tritt eine Verminderung ihrer Dichte ein, weil aus dem Zucker neben Kohlensäure Alkohol gebildet wird, welcher in der Flüssigkeit bleibt und sie spezifisch leichter macht. Diese Dichteverminderung wird Attenuation (lat. attenuare, abschwächen, vermindern) genannt. Der sogenannte Alkoholfaktor der Attenuation ist eine auf empirischem Wege gefundene Zahl, mit welcher man die in Aräometergraden ausgedrückte Attenuation multipliziren muss, um in jedem Augenblicke den Prozentgehalt einer in Gährung befindlichen Flüssigkeit an Alkohol zu finden. Innerhalb der Konzentrationsgrenzen von 5 bis 30 Prozent Zucker der ursprünglichen Flüssigkeit schwankt der Faktor zwischen 0,4294 und 0,4810. Der Alkoholgehalt an

Kilogramm Alcohol absolutus in 100 Kilogramm einer gegohrenen Flüssigkeit wird mit Hülfe folgender Gleichung berechnet:

$$A = (p - m) a.$$

Hierin ist A = Kgr. Alcohol absolutus, p = Balling's Saccharometergrad vor der Gährung, m derselbe nach der Gährung, a = Alkoholfaktor der Attenuation. Näheres über die Attenuationslehre findet man in Balling's Gährungschemie, 3. Aufl., 1865, Bd. 1, p. 177 ff., sowie bei M. Barth: Ueber die Kellerbehandlung der Traubenweine, Stuttgart, Ulmer, p. 16 ff., und E. Bauer: Gährungstechnische Untersuchungsmethoden, Braunschweig 1891, p. 256 ff. Vor kurzem hat A. J. J. Vandevelde in seinen Recherches sur la théorie de l'atténuation (Bull. de l'Assoc. Belge des chimistes 1899, T. 13, Nr. 6) durch zahlreiche Versuche bewiesen, dass man durch Anwendung der Attenuationsmethode einen mittleren Fehler von 25,5% begeht.

Der p. 220 beschriebene Destillationsapparat wurde 1853 von Jules Salleron, einem Fabrikanten physikalischer Instrumente in Paris, konstruirt und 1855 bei der französischen Zollbehörde eingeführt. Das Alkoholometer, welches den käuflichen Apparaten beiliegt, besitzt häufig nur 20 bis 25 Grade, man kann es aber auch für stärkere Spirituosen verwenden. Zu diesem Zwecke füllt man den Glascylinder nur bis zur Marke ½ mit der zu prüfenden Flüssigkeit und verdünnt bis zur Marke 1 mit Wasser. Die Alkoholometerablesung muss dann mit 2 multiplizirt werden.

In der wissenschaftlichen Weinanalyse bestimmt man das spezifische Gewicht des Destillates häufig mittels eines geprüften Pyknometers von 50, beziehungsweise 100 ccm Inhalt. Von 50 ccm Wein ist mit etwa 30. von 100 ccm Wein mit etwa 60 ccm Destillat sämmtlicher Weingeist übergegangen. Hat man die Destillation soweit geführt, so unterbricht man sie, füllt das Pyknometer bis annäherend zur Marke mit destillirtem Wasser auf, schüttelt den Inhalt bis zur völligen Homogenität der Mischung, verschliesst das Pyknometer mit einem Kork und lässt es auf + 15° C. erkalten. Nun stellt man die Flüssigkeit mit Hülfe einer Tropfpipette genau bis zur Marke ein, entfernt die allenfalls über der Marke an der Innenwand oder äusserlich am Pyknometer adhärirenden Tropfen und wägt bei + 15° C. Aus dem auf diese Weise ermittelten spezifischen Gewichte ergiebt sich der Weingeistgehalt nach besonderen Tabellen. Man vergl. M. Barth: Die Weinanalyse. Kommentar der im kaiserl. Gesundheitsamte 1884 zusammengestellten Beschlüsse der Kommission zur Berathung einheitlicher Methoden für die Analyse des Weines. Zugleich ein Leitfaden zur Untersuchung und Beurtheilung von Weinen für Chemiker, Weininteressenten und Juristen. Hamburg und Leipzig, L. Voss, 1884 (2. Aufl. war vor B.'s Tode in Vorbereitung).

Max Barth, geb. 9. Okt. 1855 zu Strehlen in Schlesien, Dr. phil, Prof. u. Direktor an der Landwirthschaftsschule u. elsass-loth. Versuchsstation in Rufach, seit 1896 in Colmar, gest. 27. August 1899.

Der Verbrauch von Wein in der medizinischen Praxis hat in den letzten 10 bis 15 Jahren zugenommen, trotz der durchaus berechtigten Gegenströmung einer alkoholfreien Therapie. Namentlich sind es die sogenannten Tokayerweine (Tokay, Name eines ungarischen Marktfleckens), welche vielfach in der Heilkunde Verwendung finden. Die Medizinalweinfrage ist wiederholt Gegenstand eingehender Erörterungen in den betheiligten Kreisen gewesen. Man vergleiche J. Leuchtmann: „Süsse Medizinalweine und ihre Verfälschungen", Wien 1890, und „Die Medizinalweinfrage vom wissenschaftl. und prakt. Standpunkte", Wien 1891.

Da es von medizinischem Interesse ist, den Gehalt eines Weines und Bieres an Alkohol zu kennen, so mögen hier folgende Angaben Platz finden:

Weine:

Rheinhessische Weissweine	5,94—9,93	Gewichtsproz.	Alkohol.
„ Rothweine	6,96—8,52	„	„
Ahr- und Moselweine	6,52—10,60	„	„
Badische Weine	3,3—8,9	„	„
Elsässer Weine	4—9	„	„
Gewöhnlicher Bordeaux	6,4—8,7	„	„
Château-Lafitte	8,7	„	„
Ungarischer Medizinaltokayer (von der Firma: Ludwig & Schütthelm in Mannheim)	9,5	„	„
Beaune	12,5	„	„
Madeira	13,1	„	„
Montilla Sherry	13,5	„	„
Marsala	13,7	„	„
Portwein, frisch auf Flaschen	14,2	„	„
„ lange auf Flaschen	14,5	„	„

Eine nennenswerthe Konzentration findet beim Liegen auf Flaschen nicht statt. Portwein, dessen Gehalt an Alkohol mehr als 14—15 % beträgt, ist gespritet.

Biere.

Berliner Weissbier	1,8—2,0	Gewichtsproz.	Alkohol.
Pilsener Lagerbier	3,43	„	„
Münchener Spaten (Export)	3,94	„	„
„ Salvator	4,78	„	„
Ale (Edinburgh)	5,70	„	„
Porter (Perkius & Co., London)	6,9	„	„

Man kann das Mischungsverhältniss einer weingeistigen Flüssigkeit, wie in vorstehender Tabelle, auch in Gewichtsprozenten ausdrücken. Der Hauptvortheil dieser Methode besteht darin, dass dann der Temperaturwechsel auf die Herstellung der Mischung keinen Einfluss hat; denn, während das Volumen sich bei Temperaturveränderungen bedeutend verändert, bleibt das Gewicht bei allen Temperaturen dasselbe. Ein Weingeist, der 60 Gewichtsprozente Alkohol enthält, kann, wie auch die Temperatur sein mag, aus 60 Gewichtstheilen reinem Alkohol und 100—60 Gewichtstheilen Wasser dargestellt werden.

Alkoholometer nach Gewicht.

Will man den Alkoholgehalt nach Gewichtsprozenten bestimmen, so bedarf es dazu eines sogenannten Gewichtsalkoholometers. Dasselbe besitzt dieselbe Einrichtung wie ein Volumenalkoholometer, nur ist die Theilung eine andere. An vielen Alkoholometern befinden sich zwei Skalen, die eine für Volum-, die andere für Gewichtsprozente. Ein nach Gewichtsprozenten konstruirtes Alkoholometer beschrieb schon J. B. Richter in seinem Buche: „Ueber die neueren Gegenstände der Chymie“ 8. Stück, 1797, p. 80.

Die Angaben eines Gewichtsalkoholometers müssen ebenfalls auf eine Normaltemperatur bezogen werden, da es bei jeder Temperatur dem spezifischen Gewichte der Flüssigkeit gemäss einsinkt. Es finden daher für jedes Gewichtsalkoholometer Tabellen Anwendung, mit Hülfe deren man die scheinbare Stärke in wahre Stärke umwandelt. Eine derartige „Tafel zur Ermittelung des Alkoholgehaltes von Spiritusmischungen für Gewichtsalkoholometer“, die in Deutschland für die Normaltemperatur von + 15° C. seit dem 1. Juli 1889 amtlich eingeführt sind, wurde von der Kaiserl. Normal-Aichungs-Kommission herausgegeben (Vierter Abdruck, Berlin, Springer 1890).

Verwandlung von Volumprozenten in Gewichtsprozente und umgekehrt.

Es ist leicht, Volumprozente durch Rechnung in Gewichtsprozente zu verwandeln und umgekehrt die letzteren in die ersteren umzusetzen, wenn man das Raumverhältniss der betreffenden Alkoholmischung und das des absoluten Alkohols kennt. Man versteht unter Raumverhältniss oder dem spezifischen Volumen den reciproken Werth des spezifischen Gewichtes. Bezeichnet man mit a das Volumprozent, mit a_1 das Gewichtsprozent des Weingeistes, und bedeuten R das Raumverhältniss des absoluten Alkohols und R_1 das des in Frage kommenden Weingeistes, so ist für alle Temperaturen:

1. $$\frac{R_1}{R} \cdot a = a_1 \text{ und}$$

2. $$\frac{R}{R_1} \cdot a_1 = a$$

Beispiel I: Ein Weingeist besitzt 20 Volumprozente (%) Alkohol, wie stark ist derselbe in Gewichtsprozenten (%)?

20% Weingeist hat das spezifische Gewicht 0,9760, sein Raumverhältniss ist somit $\frac{1}{0,9760} = 1,0246$ Das spezifische Gewicht des absoluten Alkohols ist 0,7946, sein Raumverhältniss also $\frac{1}{0,7946} = 1,2585$.

Setzen wir die Werthe in Formel 1 ein, so erhalten wir:

$$\frac{1,0246}{1,2585} \cdot 20 = a_1 = 16,28 \text{ %}.$$

Beispiel II: Man will wissen, wieviel % Alkohol ein Weingeist von 60% besitzt. Das spezifische Gewicht eines Weingeistes von 60% ist 0,8958, sein Raumverhältniss also $\frac{1}{0,8958} = 1,1163$.

Man hat daher nach Formel 2:

$$\frac{1,2585}{1,1163} \cdot 60 = a = 67,638 \text{ %}.$$

Alkoholometer mit Anhängegewichten

Ausser den besprochenen Instrumenten von konstantem Gewicht und Volumen, werden in einzelnen Ländern, namentlich in England, Alkoholometer mit Anhängegewichten gebraucht. Bei einer Art, bei welcher verschieden schwere Anhängegewichte mit in die Flüssigkeit eintauchen, ist Gewicht und Volumen veränderlich (Atkins zu vergl. Nicholson's Journ. August 1802, p. 276). Bei einer anderen Art sind die hohlen Anhängegewichte alle gleich schwer, besitzen aber verschiedenes Volumen, so dass das Gewicht des Alkoholometers zwar konstant

bleibt, aber sein Volumen sich ändert (Geissler). Bei einer dritten Art derartiger Instrumente bleibt das Volumen stets konstant, sein Gewicht dagegen wird durch Anhängegewichte, welche ausserhalb der Flüssigkeit an ihm befestigt werden, abgeändert. Näheres über solche Apparate giebt das unten zitirte Werk von Kupffer's.

von Kupffer 1799—1865.

Adolf Theodor von Kupffer wurde am 18. Januar 1799 in Mitau geboren, war Professor der Chemie und Physik in Kasan und später Direktor der meteorologischen Centralanstalt in Petersburg, wo er am 4. Juni 1865 starb.

In England bestimmt man den Weingeist nicht nach seinem Gehalte an reinem Alkohol, sondern bezieht ihn auf eine gewisse Weingeistsorte, welche „Proofspirit" heisst und giebt dann an, wie viel Maass von diesem aus 100 Maass des zu prüfenden Weingeistes durch Zusatz von Wasser gemacht werden können, oder wie viel Maass proofspirit nöthig sind, um mittels Wasserzusatzes 100 Maass des Weingeistes zu erhalten. Das zur Ausmittelung erforderliche Aräometer heisst in England Spiritometer. Die Stärke des proofspirit bezeichnet man mit 0°, stärkerer Weingeist heisst „overproof", schwächerer „underproof". 25° overproof bedeutet, dass aus 100 Maass des Weingeistes 125 Maass proofspirit erhalten werden können, und 25° underproof heisst, dass man aus 100 Maas Weingeist 100 — 25 Maass durch Wasserzusatz herzustellen vermag. Gesetzlich normirter proofspirit soll bei 51° Fahrenheit $^{12}/_{13}$ mal soviel wiegen, als das gleiche Volumen Wasser von derselben Temperatur. Da auf diese Weise das spezifische Gewicht bei einer bestimmten Temperatur bekannt ist, so lässt sich der Prozentgehalt berechnen. Der proofspirit besitzt 57,09 % Tralles bei 60° F., und 55,78 % Tralles bei 51° F. — Ueber Verfertigung und Gebrauch genauer Alkoholometer schrieb u. a. S. Stampfer.

S. Stampfer 1792-1864.

Simon Stampfer wurde am 28. September 1792 in Windisch-Matrey geboren und war zuletzt Professor der praktischen Geometrie am Polytechnikum in Wien, wo er am 10. November 1864 starb.

Von besonderen Schriften über Alkoholometrie mögen hier folgende Erwähnung finden:

E. H. von Baumhauer: Mémoire sur la densité, la dilatation etc. de l'alcool et des mélanges d'alcool et d'eau, Amsterdam 1860.

Bernard: Alcoométrie. Paris. Gauthiers-Villars 1875.

A. F. W. Brix: Das Alkoholometer und dessen Anwendung. Erste Aufl. Berlin, Reimarus 1847, dritte und letzte Aufl., Berlin 1864, Kommissionsverlag von Ernst & Korn. (Dieser Schrift wurde vom preussischen Finanzministerium amtlicher Charakter verliehen).

J. Fletscher: Beschreibung des Atkin'schen Aräometers, um das eigenthümliche Gewicht geistiger Flüssigkeiten zu bestimmen; übersetzt von Lüdicke. Gilbert's Annalen der Physik. Bd. 38, 1811, p. 432 ff.

Otto Hehner: Alkoholtafeln für 15,5°. Wiesbaden, Kreidel 1880.

J. König: Chemie der Nahrungs- und Genussmittel. 3. Aufl., Bd. II, p. 1323, Berlin, Springer.

A. Th. von Kupffer: Handbuch der Alkoholometrie. Berlin, Springer 1865.

S. Stampfer: Kommissionsbericht, betreffend die Einführung genauer Alkoholometer. Sitzungsberichte der mathem. naturw. Cl. der kaiserl. Akademie der Wiss. Wien, Bd. VI, Heft III, 1851, p. 253 ff.

Derselbe: Theoretisch-praktische Abhandlung über die Verfertigung und den Gebrauch der Alkoholometer. Denkschriften der kaiserl. Akad. der Wiss. in Wien. Mathem.-naturw. Cl., Bd. III, 1852, p. 237 ff.

K. Windisch: Tafeln zur Ermittelung des Alkoholgehaltes in Alkohol-Wassermischungen aus dem spezifischen Gewicht. Berlin, Springer 1893.

2. Lactodensimeter (lat. lac, lactis, die Milch), Galaktometer (gr. τὸ γάλα, ακτος die Milch) oder Milchwaagen. Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Milch und zur Erkennung des Wasserzusatzes dient die Milchwaage.

Ein hunderttheiliges Galaktometer wurde von A. Chevallier und H. Dinocourt beschrieben. Es hat die gewöhnliche Aräometerform. Die Skala ist auf der einen Seite für ganze, auf der anderen für abgerahmte Milch eingerichtet. Am oberen Ende befindet sich die Marke 50°, und von hier aus ist die Theilung nach unten zu für Vollmilch bis 136°, für abgerahmte Milch bis 124° fortgesetzt. Die Theilstriche von 0° bis 50° kommen nicht in Betracht. Jeder Grad zwischen 100° und 50° beträgt ein Hundertstel reiner Milch. Wenn das Instrument bis 70° eintaucht, so hat man es mit $^{70}/_{100}$ reiner Milch, also mit einem Wasserzusatz von $^{30}/_{100}$ zu thun. Ueber 100 hinaus geben die Grade die Differenzen im spezifischen Gewicht der reinen Milch an. Alle Angaben des Galaktometers beziehen sich auf die Normaltemperatur von + 15° C., bei anderen Temperaturen entnimmt man die erforderliche Korrektur den von Dinocourt entworfenen Tabellen.

Galaktometer von Chevallier und Dinocourt.

Ueber Dinocourt liess sich Biographisches bislang nicht ermitteln.

Jean Baptiste Alphonse Chevallier wurde am 19. Juli 1793 in Langres geboren, war Professor an der École de Pharmacie in Paris und starb daselbst am 30. November 1879 (zu vergl. Annales d'hygiène 3. Sér. III, 1880, p. 181).

Chevallier 1793–1879.

Die heute fast ausschliesslich benutzte Milchwaage ist das Lactodensimeter von Quevenne, welches von L. Chr. Müller und Soxhlet verbessert wurde.

Lactodensimeter von Quevenne.

Théodore Auguste Quevenne wurde 1805 in der Nähe von Pont l'Evêques geboren. Seit 1832 bekleidete er das Amt eines Pharmacien en chef de l'hôpital de la Charité in Paris und starb daselbst am 12. Oktober 1855 (zu vergl. Journal des connaissances médicales pratiques Vol. 23, 1855, p. 42 und Vol. 24, p. 59).

Quevenne 1805–1855.

Leonh. Christ. Müller wurde am 23. April 1816 im hessen-nassauischen Dorfe Dudenhofen geboren, studirte unter Liebig und Schödler in Giessen und war seit 1838 Apotheker in Bern. Von 1854 bis 1860 war er daselbst als Docent der pharm. Chemie thätig und 1878 wurde er Präsident der pharmac. Prüfungskommission. Er starb 1881 in Bern. (Sammlung Berner Biographien I, 1884).

L. Ch. Müller 1816–1881.

Die Konstruktion geht aus folgender Betrachtung hervor. Die reichhaltigste, bis jetzt beobachtete Kuhmilch zeigt ein spezifisches Gewicht von 1,040 bis 1,041. Man bereitet nun eine Flüssigkeit, welche das spezifische Gewicht 1,042 besitzt und richtet die Belastung des Aräometers (Fig. 270 p. 226) so ein, dass es darin bis zum unteren Ende des Halses einsinkt. An diese Stelle setzt man die beiden letzten Zahlen des spezifischen Gewichtes, also 42. Eine Milch mit der Hälfte Wassergehalt zeigt das spezifische Gewicht 1,014. Man lässt daher das Aräometer in einer derartigen Flüssigkeit schwimmen und bezeichnet an die Stelle des oberen Halsabschnittes, bis zu welcher es jetzt einsinkt, in derselben Weise mit der Zahl 14. Zwischen

Fig. 270. Lactodensimeter nach Quevenne verbesserter Konstruktion mit Thermometer zwisch. + 10 u. + 20° C.

diesen beiden Endmarken werden die übrigen „Grade" 15 bis 41 derartig aufgetragen, dass jeder Strich genau die Stelle bezeichnet, bis zu welcher die Spindel in einer Flüssigkeit eintaucht, deren spezifisches Gewicht durch die betreffende Zahl ausgedrückt wird. Die einzelnen Grade sollen 5 bis 10 mm Abstand besitzen, damit es möglich ist noch Fünftel bezw. Zehntel abzuschätzen.

Die Skala ist für ganze Milch oder Vollmilch (bei Quevenne: lait non écrémé) und für abgerahmte (blaue) Milch oder Magermilch (bei Quevenne: lait écrémé) eingerichtet. Für Vollmilch gilt die Bezeichnung auf der einen, für Magermilch auf der anderen Seite. Auf jeder Seite sind diejenigen Grade, zwischen deren Grenzen Schwankungen im spezifischen Gewicht der Milch vorkommen können, mit einer Klammer zusammengefasst. Da Magermilch wegen der Entfernung des Rahmes drei bis vier Grade schwerer ist als Vollmilch, so liegen alle Grade auf der für erstere bestimmten Skalaseite um so viel tiefer. In abgerahmter Milch sinkt das Lactodensimeter also weniger tief, nämlich zwischen $32^1/_2$ und $36^1/_2$ Grad ein, während es sich in der spezifisch leichteren Vollmilch zwischen 29 und 33 Grad (in Fig. 270 zwischen 29 und $32^1/_2$) bewegt.

Wasserzusatz macht jede Milch spezifisch leichter. Die Bruchzahlen $^1/_{10}$ bis $^5/_{10}$ geben an, mit wie viel Zehntel Wasser sie vermischt wurde, oder wieviel Prozent Wasser sie enthält ($^1/_{10}$ bis $^5/_{10} = 10$ bis 50 Prozent). Jeder Grad weniger als 29 beziehungsweise 33 ($32^1/_2$) entspricht einem Wasserzusatze von ungefähr 3 Prozent. Alle Angaben der Milchwaage treffen nur für eine bestimmte Temperatur, nämlich 15° C. zu. Wenn die zu untersuchende Milch wärmer oder kälter ist, so müsste sie erst durch Abkühlen oder Erwärmen auf diese Tem-

peratur gebracht werden. Um dieses umständliche und zeitraubende Verfahren zu umgehen, hat Müller eine Korrektionstabelle für Voll- und Magermilch angefertigt, aus welcher die wirklichen Grade entnommen werden können. Es hat sich nun allerdings herausgestellt, dass bei einer Temperatur unter + 10° C. und über + 20° C. diese Korrekturen ungenau werden; es ist daher besser, diese Grenzen bei der Bestimmung einzuhalten. Die beiden hier folgenden Tabellen sind daher nur für diese Intervalle maassgebend.

Bei Bruchtheilen von Lactodensimetergraden, beispielsweise 30,5° bei 17° C. wählt man das Mittel.

Also:

$$\text{Temp. } 17^{\circ}\text{ C.}\left\{\begin{array}{l} 30{,}5 = 30{,}4 \\ 31 \quad = 31{,}4 \end{array}\right. \text{(zu vergl. d. Tab.)}$$

$$61{,}8 : 2 = 30{,}9^{\circ}.$$

Eine merkwürdige Thatsache ist die sogenannte Milchkontraktion, die schon Bouchardat beobachtete. Nach dem Melken steigt das spezifische Gewicht der Milch eine Zeit lang. Die Kontraktion beträgt durchschnittlich 2 Lactodensimetergrade.

Müller's Korrektionstabelle für Vollmilch.

Lactodensimetergrade	Wärmegrade der Milch										
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
20	19,3	19,4	19,5	19,6	19,8	20	20,1	20,3	20,5	20,7	20,9
21	20,3	20,4	20,5	20,6	20,8	21	21,2	21,4	21,6	21,8	22
22	21,3	21,4	21,5	21,6	21,8	22	22,2	22,4	22,6	22,8	23
23	22,3	22,4	22,5	22,6	22,8	23	23,2	23,4	23,6	23,8	24
24	23,3	23,4	23,5	23,6	23,8	24	24,2	24,4	24,6	24,8	25
25	24,2	24,3	24,5	24,6	24,8	25	25,2	25,4	25,6	25,8	26
26	25,2	25,3	25,5	25,6	25,8	26	26,2	26,4	26,6	26,9	27,1
27	26,2	26,3	26,5	26,6	26,8	27	27,2	27,4	27,6	27,9	28,2
28	27,1	27,2	27,4	27,6	27,8	28	28,2	28,4	28,6	28,9	29,2
29	28,1	28,2	28,4	28,6	28,8	29	29,2	29,4	29,6	29,9	30,2
30	29	29,2	29,4	29,6	29,8	30	30,2	30,4	30,6	30,9	31,2
31	30	30,2	30,4	30,6	30,8	31	31,2	31,4	31,7	32	32,3
32	31	31,2	31,4	31,6	31,8	32	32,2	32,4	32,7	33	33,3
33	32	32,2	32,4	32,6	32,8	33	33,2	33,4	33,7	34	34,3
34	32,9	33,1	33,3	33,5	33,8	34	34,2	34,4	34,7	35	35,3
35	33,8	34	34,2	34,4	34,7	35	35,2	35,4	35,7	36	36,3

Bemerkung: Bei Wärmegraden unter 10° und über 20° muss die Milch erst auf diese Grade gebracht werden, da die Korrekturen sonst ungenau werden.

Müller's Korrektionstabelle für Magermilch.

Lactodensimetergrade	Wärmegrade der Milch. 10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
25	24,3	24,4	24,5	24,6	24,8	25	25,1	25,2	25,4	25,6	25,8
26	25,3	25,4	25,5	25,6	25,8	26	26,1	26,3	26,5	26,7	26,9
27	26,3	26,4	26,5	26,6	26,8	27	27,1	27,3	27,5	27,7	27,9
28	27,3	27,4	27,5	27,6	27,8	28	28,1	28,3	28,5	28,7	28,9
29	28,3	28,4	28,5	28,6	28,8	29	29,1	29,3	29,5	29,7	29,9
30	29,3	29,4	29,5	29,6	29,8	30	30,1	30,3	30,5	30,7	30,9
31	30,3	30,4	30,5	30,6	30,8	31	31,2	31,4	31,6	31,8	32
32	31,3	31,4	31,5	31,6	31,8	32	32,2	32,4	32,6	32,8	33
33	32,3	32,4	32,5	32,6	32,8	33	33,2	33,4	33,6	33,8	34
34	33,3	33,4	33,5	33,6	33,8	34	34,2	34,4	34,6	34,8	35
35	34,2	34,3	34,4	34,6	34,8	35	35,2	35,4	35,6	35,8	36
36	35,2	35,3	35,4	35,6	35,8	36	36,2	36,4	36,6	36,9	37,1
37	36,2	36,3	36,4	36,6	36,8	37	37,2	37,4	37,6	37,9	38,2
38	37,2	37,3	37,4	37,6	37,8	38	38,2	38,4	38,6	38,9	39,2
39	38,2	38,3	38,4	38,6	38,8	39	39,2	39,4	39,6	39,9	40,2
40	39,1	39,2	39,4	39,6	39,8	40	40,2	40,4	40,6	40,9	41,2

Bemerkung: Bei Wärmegraden unter 10° und über 20° muss die Milch erst auf diese Grade gebracht werden, da die Korrekturen sonst ungenau werden.

Wenn nun auch das Lactodensimeter das spezifische Gewicht der Milch verhältnissmässig genau angiebt, so kann man daraus doch nicht immer auf die Güte derselben schliessen, selbst wenn die Grade 29 bis 33 (29 bis 32½) beziehungsweise 32½ bis 36½ zutreffen. Da die Milch durch Abrahmen schwerer, durch Vermischen mit Wasser aber wieder leichter wird, so benutzt der Händler diesen Umstand häufig zu einer doppelten Verfälschung, über welche die Milchwaage keinen Aufschluss giebt.

Dem geübten Blicke entgeht dieser Betrug zwar nicht, da die Milch dann eine dünnflüssige Beschaffenheit und ein bläuliches Aussehen annimmt und ein auf den Fingernagel gebrachter Tropfen nicht mehr gewölbt erscheint, sondern zerfliesst. Um aber die Verfälschung mit Sicherheit nachzuweisen, muss die Fettbestimmung ausgeführt werden. Untersuchungen im Algäu in den Jahren 1892 bis 1896 mit Hülfe von 532 Stallproben ergaben einen Fettgehalt der Milch von durchschnittlich 3,8 % (Min. 2,15 %, Max. 6,8 % [zu vergl.

J. Herz: Mitthlg. d. Milch-Wirth-Ver. im Algäu, März 1897]). Auch diese Fettbestimmung lässt sich auf aräometrischem Wege bewerkstelligen.

Das Kasein der Milch wird mit Kalilauge behandelt und das Fett dann mit Aether gelöst. Das spezifische Gewicht der Aether-

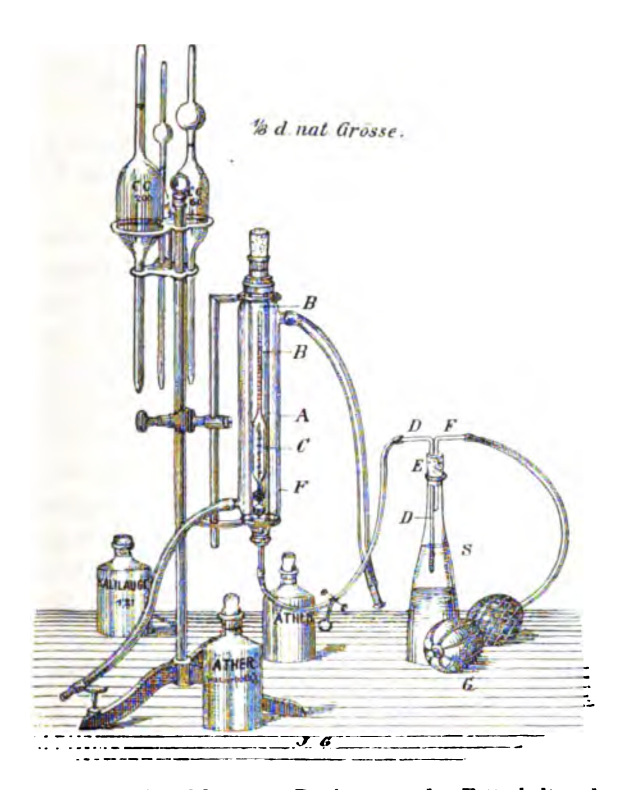


Fig. 271. **Apparat nach Soxhlet zur Bestimmung des Fettgehaltes der Milch auf aräometrischem Wege, bestehend aus einem Stativ mit verstell- und drehbarem Halter, Kühlrohr und Aräometerrohr; mit zwei geprüften Thermo-Lactodensimetern für Voll- und Magermilch, drei Messpipetten für Kalilauge, Aether und Milch, für welche ein Halter am Stativ angebracht ist, mit Gummiblasebalg und Schlauchverbindung mit Quetschhahn, mit 10 nummerirten Schüttelflaschen à 300 ccm für 10 gleichzeitig auszuführende Bestimmungen, mit Aufbewahrungsflaschen für Kalilauge und Aether. Der Apparat ist zu beziehen aus der Fabrik für Präcisions-Glasinstrumente von Johannes Greiner, München, Neuhausstrasse 49. Preis 50 Mk.**

fettlösung hängt genau von der gelösten Fettmenge ab, wird also ersteres ermittelt, so lässt sich auch letztere in Prozenten angeben.

Man mischt in einer Flasche (Schüttelflasche, Fig. 271 *S*) 200 ccm Milch von 17,5 ° C. mit 10 ccm Kalilauge vom spezifischen Gewicht

1,27 und 60 ccm alkoholfreiem, wassergesättigtem Aether und schüttelt die Mischung eine halbe Minute heftig. Darauf legt man die mit Gummistopfen verschlossene Flasche für eine Viertelstunde, oder länger, horizontal in ein Wasserbad von 17 bis 18° C. und setzt das Schütteln, aber diesmal sanft, in kurzen Pausen fort. Dieses Verfahren hat den Zweck soviel ätherische Fettlösung auf der Flüssigkeitsoberfläche zu sammeln, dass ein Aräometer darin schwimmen kann.

Bei sehr fettreicher Milch dauert die Ansammlung länger als eine Viertelstunde, aber selten länger als 1 bis $1^1/_2$ Stunden.

Die Abscheidung der Aetherfettlösung kann mit Hülfe einer geeigneten Handcentrifuge die mit einer Vorrichtung zur Aufnahme von 1 oder 2 Schüttelflaschen versehen ist, stets in wenigen Minuten bewirkt werden.

Um das Einsenken des Aräometers bei bestimmter Temperatur und ohne Verdunstung von Aether zu bewerkstelligen, verschliesst man die Schüttelflasche mit einem Gummistopfen *E*, der zwei Röhren trägt, die in der Art angeordnet sind, dass die eine *D* die Aetherschicht durchsetzt, während die andere *F* über dieser mündet. *D* wird alsdann mittels eines Gummischlauches mit dem zur Ausführung der aräometrischen Bestimmung dienenden röhrenartigen Gefässe *B* verbunden. Dasselbe hat an seinem unteren Abschnitte einige Einbuchtungen, um das Festklemmen des darin enthaltenen Aräometers zu verhindern und ist von einem weiten Glasrohre *F* umgeben, welches oben und unten ein mit Gummischlauch versehenes Ansatzrohr trägt. Während der untere Schlauch in Wasser von 16° bis 18° C. taucht, saugt man an dem oberen Rohre so lange, bis *F* sich mit Wasser gefüllt hat. Dann verbindet man die beiden Schläuche durch eine Glasröhre.

Nun treibt man durch sanften Druck mit dem Gebläse *G* die Aetherfettlösung durch das bis nahe an die untere Grenze derselben geschobene Steigrohr *D* in den das Aräometer enthaltenden Raum, bis das Instrument in der Flüssigkeit schwimmt.

Sollte es bei einer Milch von sehr geringem Fettgehalte vorkommen, dass sich weniger Aetherfettlösung abscheidet, als zum Schwimmen des Aräometers erforderlich ist, so ergänzt man die Flüssigkeitsmenge aus einer zweiten Schüttelflasche.

Um einerseits das Verdunsten, andererseits das Zurücktreten der Flüssigkeit zu vermeiden, wird das Aufnahmegefäss *B* oben mit einem Gummistöpsel und unten an der Schlauchverbindung mit einem Quetschhahn verscholssen.

Darauf liest man an der, entsprechend den spezifischen Gewichten 0,766 bis 0,743 der Aetherfettlösung von 66 bis 43 in ganze und halbe Grade getheilten Aräometerskala, denjenigen Grad ab, bis

zu welchem die Spindel eintaucht. Es wird jene Stelle beobachtet, welche mit dem mittleren Abschnitte der vertieften Flüssigkeitsoberfläche zusammenfällt. Auf diese Weise erhält man leicht Fünftel der halben Grade, also Zehntelgrade. Die Temperatur wird nach einem im Schwimmkörper des Aräometers angebrachten, auf $^1/_{10}{}^0$ genau justirten Thermometer notirt. Die Prozente Fett sind unmittelbar aus der Tabelle I zu entnehmen, falls die Temperatur der Aetherfettlösung genau 17,5° C. beträgt. Sollte dies nicht der Fall sein, so muss man in der Weise eine Reduktion vornehmen, dass man für jeden Grad Celsius, den das Thermometer mehr zeigt als 17,5° einen Grad zum abgelesenen Aräometerstand hinzu zählt, für jeden Grad, den es weniger als 17,5° zeigt, dagegen einen Grad von demselben abzieht. Dasselbe gilt auch für die Zehntel.

Wurden beispielsweise am Aräometer 58,9°, am Thermometer statt 17,5 nur 16,8° abgelesen, so ist der richtige Aräometergrad 58,2°, dem ein Fettgehalt von 3,92 Prozent entspricht. Betrug die Ablesung am Aräometer 47,6° und am Thermometer 18,4°, so ist der richtige Grad 48,5° mit 2,71 Prozent Fett.

Die Reinigung des Apparates nach dem Gebrauche wird mit reinem Aether vorgenommen. Die Haltevorrichtung am Stativ kann zu diesem Zwecke horizontal gestellt werden.

In der beschriebenen Weise wird der Apparat nur zur prozentischen Bestimmung des Fettes von Vollmilch verwendet. Um eine solche auch für Magermilch vornehmen zu können, muss derselben, da sich die erforderliche Abscheidung einer genügenden Menge Aetherfettlösung nicht erzielen lassen würde, etwas Seifenlösung zugesetzt werden. Diese bereitet man aus 15 g Stearin, 25 ccm Alkohol und 10 ccm der obengenannten Kalilauge durch Erwärmen im Wasserbade. Von der entstandenen klaren Lösung, die man auf 100 ccm mit Wasser verdünnt, fügt man zu den in der Schüttelflasche enthaltenen 200 ccm Magermilch 0,4 bis 0,5 ccm (20 bis 25 Tropfen) und verfährt im Uebrigen gerade so, wie bei der Untersuchung der Vollmilch. Für die Messung ist aber ein besonderes Aräometer für das spezifische Gewicht 0,743 bis 0,721 erforderlich. Ablesung und Berechnung werden in der für Vollmilch angegebenen Weise vorgenommen. Den Fettgehalt der Magermilch in Gewichtsprozenten giebt die Tabelle II.

Die hier mitgetheilte Fettbestimmung und der dazu erforderliche Apparat stammt von Soxhlet. Er berichtete darüber unter dem Titel: Aräometrische Methode zur Bestimmung des Fettgehaltes der Milch in der Zeitschrift des landwirthschaftlichen Vereins in Bayern 1880, p. 1 ff.

Will man sich mit einer annähernden Bestimmung des Fettgehaltes begnügen, so kann man schneller zum Ziele gelangen. Hierfür sind allerdings Instrumente, die auf optischen Methoden beruhen, wie das Feser'sche Laktoskop, nicht

I. Tabelle

angebend den Fettgehalt ganzer (Voll-) oder schwach entrahmter Milch in Gewichtsprozenten nach dem spez. Gew. der Aetherfettlösung bei 17,5° Cels.*)

Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %
43	2,07	**47**	2,52	**51**	3,00	**55**	3,49	**59**	4,03	**63**	4,63
43,1	2,08	47,1	2,54	51,1	3,01	55,1	3,51	59,1	4,04	63,1	4,64
43,2	2,09	47,2	2,55	51,2	3,03	55,2	3,52	58,2	4,06	63,2	4,66
43,3	2,10	47,3	2,56	51,3	3,04	55,3	3,53	59,3	4,07	63,3	4,67
43,4	2,11	47,4	2,57	51,4	3,05	55,4	3,55	59,4	4,09	63,4	4,69
43,5	2,12	47,5	2,58	51,5	3,06	55,5	3,56	59,5	4,11	63,5	4,70
43,6	2,13	47,6	2,60	51,6	3,08	55,6	3,57	59,6	4,12	63,6	4,71
43,7	2,14	47,7	2,61	51,7	3,09	55,7	3,59	59,7	4,14	63,7	4,73
43,8	2,16	47,8	2,62	51,8	3,10	55,8	3,60	59,8	4,15	63,8	4,75
43,9	2,17	47,9	2,63	51,9	3,11	55,9	3,61	59,9	4,16	63,9	4,77
44	2,18	**48**	2,64	**52**	3,12	**56**	3,63	**60**	4,18	**64**	4,79
44,1	2,19	48,1	2,66	52,1	3,14	56,1	3,64	60,1	4,19	64,1	4,80
44,2	2,20	48,2	2,67	52,2	3,15	56,2	3,65	60,2	4,20	64,2	4,82
44,3	2,22	48,3	2,68	52,3	3,16	56,3	3,67	60,3	4,21	64,3	4,84
44,4	2,23	48,4	2,70	52,4	3,17	56,4	3,68	60,4	4,23	64,4	4,85
44,5	2,24	48,5	2,71	52,5	3,18	56,5	3,69	60,5	4,24	64,5	4,87
44,6	2,25	48,6	2,72	52,6	3,20	56,6	3,71	60,6	4,26	64,6	4,88
44,7	2,26	48,7	2,73	52,7	3,21	56,7	3,72	60,7	4,27	64,7	4,90
44,8	2,27	48,8	2,74	52,8	3,22	56,8	3,73	60,8	4,29	64,8	4,92
44,9	2,28	48,9	2,75	52,9	3,23	56,9	3,74	60,9	4,30	64,9	4,93
45	2,30	**49**	2,76	**53**	3,25	**57**	3,75	**61**	4,32	**65**	4,95
45,1	2,31	49,1	2,77	53,1	3,26	57,1	3,76	61,1	4,33	65,1	4,97
45,2	2,32	49,2	2,78	53,2	3,27	57,2	3,78	61,2	4,35	65,2	4,98
45,3	2,33	49,3	2,79	53,3	3,28	57,3	3,80	61,3	4,36	65,3	5,00
45,4	2,34	49,4	2,80	53,4	3,29	57,4	3,81	61,4	4,37	65,4	5,02
45,5	2,35	49,5	2,81	53,5	3,30	57,5	3,82	61,5	4,39	65,5	5,04
45,6	2,36	49,6	2,83	53,6	3,31	57,6	3,84	61,6	4,40	65,6	5,05
45,7	2,37	49,7	2,84	53,7	3,33	57,7	3,85	61,7	4,42	65,7	5,07
45,8	2,38	49,8	2,86	53,8	3,34	57,8	3,87	61,8	4,44	65,8	5,09
45,9	2,39	49,9	2,87	53,9	3,35	57,9	3,88	61,9	4,46	65,9	5,11
46	2,40	**50**	2,88	**54**	3,37	**58**	3,90	**62**	4,47	**66**	5,12
46,1	2,42	50,1	2,90	54,1	3,38	58,1	3,91	62,1	4,48		
46,2	2,43	50,2	2,91	54,2	3,39	58,2	3,92	62,2	4,50		
46,3	2,44	50,3	2,92	54,3	3,40	58,3	3,93	62,3	4,52		
46,4	2,45	50,4	2,93	54,4	3,41	58,4	3,95	62,4	4,53		
46,5	2,46	50,5	2,94	54,5	3,43	58,5	3,96	62,5	4,55		
46,6	2,47	50,6	2,96	54,6	3,45	58,6	3,98	62,6	4,56		
46,7	2,49	50,7	2,97	54,7	3,46	58,7	3,99	62,7	4,58		
46,8	2,50	50,8	2,98	54,8	3,47	58,8	4,01	62,8	4,59		
46,9	2,51	50,9	2,99	54,9	3,48	58,9	4,02	62,9	4,61		

*) Anstatt der vollständigen Zahlen für das spez. Gewicht sind entsprechend den Angaben der Spindel-Skala nur die 2., 3. und 4. Dezimalstelle hier angeführt und entspricht z. B. die Zahl 43,0 dem spez. Gewichte 0,7430.

II. Tabelle

angebend den Fettgehalt der Magermilch in Gewichtsprozenten nach dem spezifischen Gewicht der Aetherfettlösung bei 17,5° C.

Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %	Spez. Gew.	Fett %
		25	0,37	**29**	0,74	**33**	1,10	**37**	1,47	**41**	1,87
21,1	0,00	25,1	0,38	29,1	0,75	33,1	1,11	37,1	1,48	41,1	1,88
21,2	0,01	25,2	0,39	29,2	0,76	33,2	1,12	37,2	1,49	41,2	1,89
21,3	0,02	25,3	0,40	29,3	0,77	33,3	1,13	37,3	1,50	41,3	1,90
21,4	0,03	25,4	0,40	29,4	0,78	33,4	1,14	37,4	1,51	41,4	1,91
21,5	0,04	25,5	0,41	29,5	0,79	33,5	1,15	37,5	1,52	41,5	1,92
21,6	0,05	25,6	0,42	29,6	0,80	33,6	1,15	37.6	1,53	41,6	1,93
21,7	0,06	25,7	0,43	29,7	0,80	33,7	1,16	37,7	1,54	41,7	1,94
21,8	0,07	25,8	0,44	29,8	0,81	33,8	1,17	37,8	1,55	41,8	1,95
21,9	0,08	25,9	0,45	29,9	0,82	33,9	1,18	37,9	1,56	41,9	1,96
22	0,09	**26**	0,46	**30**	0,83	**34**	1,19	**38**	1,57	**42**	1,97
22,1	0,10	26,1	0,47	30,1	0,84	34,1	1,20	38,1	1,58	42,1	1,98
22,2	0,11	26,2	0,48	30,2	0,85	34,2	1,21	38,2	1,59	42,2	1,99
22,3	0,12	26,3	0,49	30,3	0,86	34,3	1,22	38,3	1,60	42,3	2,00
22,4	0,13	26,4	0,50	30,4	0,87	34,4	1,23	38,4	1,61	42,4	2,01
22,5	0,14	26,5	0,50	30,5	0,88	34,5	1,24	38,5	1,62	42,5	2,02
22,6	0,15	26,6	0,51	30,6	0,88	34,6	1,24	38,6	1,63	42,6	2,03
22,7	0,16	26,7	0,52	30,7	0,89	34,7	1,25	38,7	1,64	42,7	2,04
22,8	0,17	26,8	0,53	30,8	0,90	34,8	1,26	38,8	1,65	42,8	2,05
22,9	0,18	26,9	0,54	30,9	0,91	34,9	1,27	38,9	1,66	42,9	2,06
23	0,19	**27**	0,55	**31**	0,92	**35**	1,28	**39**	1,67	**43**	2,07
23,1	0,20	27,1	0,56	31,1	0,93	35,1	1,29	39,1	1,68		
23,2	0,21	27,2	0,57	31,2	0,94	35,2	1,30	39,2	1,69		
23,3	0,22	27,3	0,58	31,3	0,95	35,3	1,31	39,3	1,70		
23,4	0,23	27,4	0,59	31,4	0,95	35,4	1,32	39,4	1,71		
23,5	0,24	27,5	0,60	31,5	0,96	35,5	1,33	39,5	1,72		
23,6	0,25	27,6	0,60	31,6	0,97	35,6	1,33	39,6	1,73		
23,7	0,25	27,7	0,61	31,7	0,98	35,7	1,34	39,7	1,74		
23,8	0,26	27,8	0,62	31 8	0,99	35,8	1,35	39,8	1,75		
23,9	0,27	27,9	0,63	31,9	1,00	35,9	1,36	39,9	1,76		
24	0,28	**28**	0,64	**32**	1,01	**36**	1,37	**40**	1,77		
24,1	0,29	28,1	0,65	32,1	1,02	36,1	1,38	40,1	1,78		
24,2	0,30	28,2	0,66	32,2	1,03	36,2	1,39	40,2	1,79		
24,3	0,30	28,3	0,67	32,3	1,04	36,3	1,40	40,3	1,80		
24,4	0,31	28,4	0,68	32,4	1,05	36,4	1,41	40,4	1,81		
24,5	0,32	28,5	0,69	32,5	1,05	36,5	1,42	40,5	1,82		
24,6	0,33	28,6	0,70	32,6	1,06	36,6	1,43	40,6	1,83		
24,7	0,34	28,7	0,71	32,7	1,07	36,7	1,44	40,7	1,84		
24,8	0,35	28,8	0,72	32,8	1,08	36,8	1,45	40,8	1,85		
24,9	0,36	28,9	0,73	32,9	1,09	36,9	1,46	40,9	1,86		

zu empfehlen, da sie wenig zuverlässige Ergebnisse liefern. Dagegen kann das von J. E. A. Marchand (Journ. de pharm. 1854 [3], T. 26, p. 344) erfundene, von Tollens und F. Schmidt (Journal für Landwirthschaft, 1874 u. 1878, zu vergl. Maly's Jahresbericht der Thierchemie 1877, p. 179, 1878 p. 140, 1879 p. 128) und Méhu (Maly's Jahresb. 1877, p. 47) verbesserte Laktobutyrometer als einigermaassen brauchbares Instrument gelten. Die dabei in Betracht kommende Methode beruht auf der Ueberlegung, das Milchfett durch Aether aufzulösen, durch Alkohol wieder auszuscheiden und aus dem Volumen des abgeschiedenen Fettes die Fettprozente zu berechnen.

Jean Eugène Augustin Marchand, geb. 26. August 1816 in Fécamp, Apotheker u. Chemiker in seiner Vaterstadt, gest. daselbst am 30. April 1895.

Der dazu benutzte Apparat besteht aus einer einerseits geschlossenen Glasröhre mit Fuss. In die Röhre füllt man mit Hülfe einer Pipette 10 ccm Milch, der 2 bis 6 Tropfen Essigsäure und 1 Tropfen Natronlauge unter Umschütteln zugesetzt werden. Alsdann fügt man 10 ccm Aether (spez. Gew. 0,725–0,730 bei + 15° C.) hinzu und schüttelt so lange, bis eine gleichförmige Mischung entstanden ist. Der Zusatz von Essigsäure und Natronlauge hat den Zweck, dem Aether die Aufnahme des Fettes zu erleichtern. Die Mischung wird nun mit 10 ccm von 91 % Alkohol (spez. Gew. 0,8203) in der Röhre abermals geschüttelt, bis alle Kaseinklümpchen sich gleichmässig vertheilt haben. Dann stellt man die mit einem Gummistopfen fest verschlossene Röhre für 1/4 bis 1/2 Stunde in Wasser von + 40° C., wobei sich auf der Oberfläche des Flüssigkeitsgemisches eine Fettschicht ansammelt. Durch Abkühlung auf + 20° C. scheidet sich meistens noch etwas, in der wärmeren Flüssigkeit zurückgehaltenes Fett aus. Endlich liest man an einer Skala der Röhre das ausgeschiedene Fett in Kubikcentimetern ab. Ueber den entsprechenden Prozentgehalt an Fett giebt eine dem Apparate beiliegende Tabelle (zu vergl. Maly's Jahresbericht für Thierchemie 1878, p. 140) Aufschluss. Für Milch, die unter 2,9 % und über 3,5 % Fett enthält, ist auch diese Methode nicht ganz sicher. — Im Grossbetriebe der Molkereien verwendet man zur Fettbestimmung häufig eine Art Centrifuge, das sogenannte Laktokrit von de Laval.

Von Literatur, welche sich auf aräometrische Untersuchung der Milch und auf die hierzu benutzten Instrumente bezieht, sei folgende erwähnt:

Bouchardat et feu Th. A. Quevenne: Du Lait Paris: Bouchard-Huzard & Germer-Baillière 1857. Der erste Theil des Buches erschien schon vorher in dem Répertoire de Pharmacie, Juli-August 1856 und separat bei Germer-Baillière, Paris 1856.

A. Chevallier: De la nécessité de publier une instruction etc. pour connaitre si du lait est ou non allongé d'eau. Annales d'hygiène publ. 2e Sér., T. 3, 1855, p. 309, sq.

A. Chevallier et E. Baudrimont: Dictionnaire des altérations et falsifications des substances alimentaires, médicamenteuses et commerciales. 5. Édition, T. II, Paris, Asselin 1878, p. 650.

O. Dietzsch: Die Kuhmilch etc. Zürich, Orell Füssli & Co. 1889, p. 32 ff.

H. Dinocourt: Instruction pour l'usage du galactomètre centésimal, Paris 1846.

F. J. Herz: Die gerichtliche Untersuchung der Kuhmilch, sowie deren Beurtheilung. Berlin u. Neuwied 1889, Louis Heuser.

Les falsifications du lait devant les tribunaux. Moniteur scientifique. 1891, Janv., p. 5.

Chr. Müller: Anleitung zur Prüfung der Kuhmilch. Bern, Haller 1857, p. 15 ff.

Chr. Müller: Ueber aräometrische Milchprüfung. Berner Mittheilungen, Januar 1858, Nr. 408—409.

Th. A. Quevenne: Mémoire sur le lait. Annales d'hygiène publique et de médecine légale, T. 26, 1841, p. 59. u. Instruction pour l'usage du lactodensimètre. Paris 1891, Chevalier.

H. Scholl: Die Milch etc. mit spezieller Berücksichtigung ihrer Beziehungen zur Hygiene. Wiesbaden, Bergmann, 1891, p. 71 u. 82 ff.

Die wichtige Rolle, welche die Milch als Nahrungsmittel im täglichen Leben, sowie als Forschungsgegenstand in der Chemie, Physiologie und Hygiene spielt, rechtfertigt ein näheres Eingehen auf das Wesen derselben in diesem Buche. Milch ist das Sekret der Milchdrüsen der weiblichen Säugethiere. Da in früheren Kapiteln bereits mehrfach von Drüsen die Rede war, so dürfte es nicht unangebracht sein, an dieser Stelle darüber einige erklärende Worte einzuschieben.

Allgemeines über Drüsen.

Man versteht unter einer Drüse (Glandula) ein Gebilde, welches von Blutgefässen umsponnen, unter dem Einfluss besonderer Nerven, mit Hülfe von Epithelzellen aus dem Blute Stoffe absondert. Getragen werden die Drüsenepithelzellen von einer bindegewebigen Stützmembran (Membrana propria), welche einfache oder verzweigte, einerseits blindendigende, gerade oder gewunden verlaufende Röhren bildet, die entweder überall gleich weit sind (tubulöse Drüsen), oder alveolenartige Erweiterungen besitzen (alveoläre Drüsen). Das die Drüsen umhüllende Bindegewebe kann in ihr Inneres Scheidewände (Septa) hineinsenden, welche das Drüsenparenchym in kleinere oder grössere, gleich- oder verschiedenwertige Abschnitte (lobuli und lobi) zerlegt und als Träger für die in das Organ eindringenden Blutgefässe und Nerven dient. Drüsen können in ihrer ganzen Ausdehnung die Absonderung übernehmen; in den meisten Fällen aber secernirt nur der dem blinden Ende zunächst gelegene Theil, der sogenannte Drüsenkörper, während der mit der Aussenwelt indirekt oder direkt in Zusammenhang stehende Abschnitt als Ausführungsgang für das Sekret dient. Gewöhnlich wird das Sekret, welches die Zellen liefern, von diesen nur nach einer Seite, nämlich in das Drüsenlumen abgegeben, bei manchen Drüsen aber erfolgt die Abgabe des Sekretes nach allen Seiten. Dann gelangt letzteres in sehr feine Kanälchen (Sekretkapillaren], welche, entweder einzeln oder zu dickeren Stämmen vereint, in das Drüsenlumen einmünden.

Bei einigen tubulösen Drüsen (Niere, zu vergl. Bd. I, p. 789 ff.), liegen zwischen den blindendigenden Tubulis, den sogenannten Endstücken, und den Ausführungsgängen noch Schaltstücke und Sekretröhren, deren Epithelzellen ebenfalls zur Funktion der Drüse in bestimmter Beziehung stehen. Beschaffenheit und Aussehen der Drüsenzellen wechselt je nach ihrem Funktionszustande.

Es giebt auch Drüsen ohne Ausführungsgang. Bei solchen Drüsen gelangt das Sekret entweder überhaupt nicht nach aussen (Schilddrüse oder Thyreoidea [gr. ὁ θυρεός, der Schild, wegen der Form der Drüse]), oder es wird durch Bersten des Drüsengewebes entleert (Eierstock oder Ovarium). „Ueber Bau und Eintheilung der Drüsen" schrieb W. Flemming in der anatom. Abtheilung des Archivs f. Anat. und Physiologie. 1888. p, 287.

Beschaffenheit der Milchdrüse.

Die Milchdrüse wird von einigen Forschern (Stöhr beispielweise) für eine tubulöse zusammengesetzte Drüse erklärt. Flemming, Gegen-

baur (Lehrb. d. Anat. d. Menschen. 7. Aufl. Leipzig, Engelmann 1899. Bd. II, p. 549) und Andere rechnen sie zu den alveolären Drüsen. Sie findet sich bei beiden Geschlechtern, erreicht aber, seltene Ausnahmen abgerechnet, nur im weiblichen Geschlechte ihre höchste Ausbildung und zwar um die Zeit, in welcher das Geschlechtsleben den Höhepunkt erreicht, d. h. während der Schwangerschaft und nach der Niederkunft. Bei Kindern beiderlei Geschlechts, sowie beim erwachsenen Manne, finden sich nur Drüsenausführungsgänge, die in ihrem der Mündung abgewandten Gebiete kolbenförmig verdickt sind. Endstücke fehlen an dem unentwickelten Organ und bilden sich erst — und zwar auch nur in beschränkter Zahl — wenn der weibliche Organismus in die Geschlechtsreife eintritt. Das Drüsengewebe wird dann von einem an Fettzellen reichen Bindegewebe umgeben, wodurch die Brüste (Mammae) und Euter (ubera) ihr mehr oder weniger gewölbtes Aussehen erhalten. Grösse und Gestalt, Weichheit und Härte der Brüste unterliegen je nach Lebensweise, Klima und Rasse grossen Verschiedenheiten. — Während der Schwangerschaft und zur Zeit des Stillens sind beim menschlichen Weibe 15—20 wohlausgebildete Milchdrüsen in jeder Brust enthalten. Jede Drüse steht mit einem Aufsührungsgange in Verbindung, und die Ausführungsgänge münden auf der Kuppe der von einem Hofe umgebenen Brustwarze (Papilla s. Mamilla). Das Gewebe der Warze (Zitze) enthält kreisförmig und longitudinal angeordnete glatte Muskelfasern (zu vergl. Bd. II, p. 139), durch welche bei der Berührung oder in Folge des Saugreizes ein Hartwerden und eine Verlängerung der Warze erzielt werden. In der meist dunkel pigmentirten Haut des Warzenhofes (Areola) sind bei Schwangeren und Stillenden accessorische Milchdrüsen, sogenannte Glandulae areolares (Montgomery: An exposition of the signs and symptoms of pregnancy, London 1837, p. 61) in Thätigkeit. Bei Säugethieren wechselt die Zahl der Zitzen, die sich in der Brust- und Bauchgegend, beziehungsweise am Euter befinden, zwischen 2 und 12.

William Fotherston Montgomery, geb. 1797 in Irland, Gründer des Lehrstuhles für Geburtshülfe am College of Phys. (Dublin), den er als Erster 30 Jahre lang inne hatte, gest. 21. Dez. 1859 in Dublin. (Nekrolog: Medic. Times and Gazette 1859, New Series Vol. 19, p. 664 und The Lancet 1860, Vol. 1, p. 24.)

Zur Zeit der Lactation erweitern sich die Ausführungsgänge vor ihrer Mündung zu den sogenannten Milchsäckchen (Sinus lactiferi), welche durch baumförmige Verästelungen mit den Endstücken zusammenhängen. Während der Schwangerschaft (Trächtigkeit) haben die Epithelzellen der Endstücke mehr oder weniger kubische Gestalt. Im Drüsenlumen finden sich aus dem umgebenden Bindegewebe durch das Epithel eingedrungene Amöbocyten oder Leukocyten (zu vergl. Bd. I, p. 221 u. 784). Viele von ihnen zerfallen, andere nehmen aus den Drüsenzellen stammende Fetttröpfchen auf und liefern die sogenannten Colostrumkörperchen. Gegen das Ende der Schwangerschaft und in der ersten Zeit nach der Niederkunft tritt ein die Colostrumkörperchen enthaltendes, gelbliches und klebriges Fluidum (Biestmilch, Colostrum [Plinius: Hist. nat. 11, 41 (96); 28, 9 (33); L. Junius Moderatus Collumella: de re rustica 7, 3, 17]), auf Druck oder spontan aus der Warze hervor. Albertus Magnus (De secretis mulierum, Lugd. 1596. I. 5, vorletzte Seite) nannte dasselbe Flos mulierum. Mit dem Beginn der Lactation verschwinden die Colostrumkörperchen und Leukocyten, die Drüsenzellen nehmen eine hohe cylindrische Gestalt an und erscheinen nach dem Absaugen platt (sekretleere Zellen). Im Inneren der Zellen, die häufig zwei Kerne enthalten, finden sich als Produkt des Absonderungsvorganges — worüber namentlich die Untersuchungen von R. Heidenhain (zu vergl. Hermann's Handbuch der Physiologie Bd. V, p. 382) Aufschluss gegeben haben — Fetttropfen, welche die Zellkerne an Grösse öfters übertreffen.

Rudolph Heidenhain, geb. 29. Jan 1834 in Marienwerder, Prof. d. Physiologie in Breslau, gest. 13. Okt. 1897 daselbst.

Das Drüsenlumen enthält ausser Fetttropfen (Milchkügelchen) viele freie Kerne, welche durch ihre Auflösung den Nucleingehalt der Milch

bedingen. Nach dem Aufhören des Säugegeschäftes werden die Milchdrüsen allmählich zurückgebildet. Das zwischen den einzelnen Drüsen gelegene Bindegewebe breitet sich aus und verdrängt die Drüsenläppchen und Endstücke. Auch Leukocyten und Colostrumkörperchen verschwinden wieder. Im Alter ist das Drüsenparenchym bis auf die Ausführungsgänge verödet.

Ueber die Entwickelung der Milchdrüsen haben neuerdings E. Kallius (Anatom. Hefte, Bd. 8, H. 1, p. 155 mit 2 Taf.), H. Schmidt (Morphol. Arbeiten, Bd. 7, H. 1, p. 157 mit 2 Taf.) und G. Burckhard (Anatom. Hefte, Bd. 8, H. 3, p. 527 mit 2 Taf.) Untersuchungen angestellt. Beim neugeborenen Menschen beiderlei Geschlechtes treten in dem spärlich entwickelten Drüsengewebe eigenthümliche Veränderungen ein. Die Brüste schwellen an — ich habe sie manchmal von der Grösse eines kleinen Apfels gesehen — und auf Druck lässt sich eine milchähnliche Flüssigkeit, die sogenannte Hexenmilch, auspressen. Der ganze Vorgang hängt damit zusammen, dass die ursprünglich solid angelegten Drüsengänge hohl werden, indem die central gelegenen Zellen der Fettmetamorphose anheimfallen und sich verflüssigen (Koelliker, Würzburg, Verhdlg. N. F. 1879. Bd. 14, p. 142). Im Verlaufe eines Monates gehen die Erscheinungen, die manchmal von entzündlichen Zuständen begleitet werden, allmählich zurück. Etwas Aehnliches kommt gelegentlich während der Pubertätsperiode von Knaben vor. — Alex. von Humboldt erzählt in seiner „Reise in die Aequinoctialgegenden des neuen Kontinents" (Deutsch von Herm. Hauff), Stuttgart: Cotta 1859, Bd. I, p. 310 ff., die merkwürdige Begebenheit, dass in dem Dorfe Arenas in der Nähe von San Fernando ein Landmann von europäischer Abstammung, Namens Francisco Lozano, eines seiner Kinder fünf Monate lang gestillt habe. Der genannte Autor weist auf mehrere ähnliche Fälle hin. Auch Ziegenböcke sollen gelegentlich Milch geben, wie schon Aristoteles (Opera omnia, graec. et latin. Parisiis, 1854, Bd. 3, De animalibus historia. Lib. 3, Kap. 20, Zeile 41 ff.; Editio Bekker [Acad. reg. borussica], Berlin, 1831, Vol. 1, p. 522 und Vol. 3, p. 266) beobachtet haben will. — Bei der im Felsengebirge Nordamerikas heimischen Hasenart, Lepus Bairdii scheint das Männchen regelmässig Milch zu liefern.

Beschaffenheit und Zusammensetzung der Milch in chem. und physiolog. Hinsicht.

Milch ist im Wesentlichen eine Lösung von Eiweisskörpern, Zucker und Salzen, die das Fett in Emulsionsform (zu vergl. Bd. I, p. 588) enthält. Die gelblichweisse, bis bläulichweisse Farbe der Milch rührt von der allseitigen Reflexion des Lichtes an der Oberfläche der Milchkügelchen her, zum Theil auch von Kasein und Calciumphosphot (O. Hammarsten, Lehrbuch der physiol. Chemie, 2. Aufl. Wiesbaden, Bergmann 1899, p. 397). Dem Vorhandensein der Milchkügelchen verdankt die Milch ihre Undurchsichtigkeit. Mit sinkender Temperatur steigt ihre Viscosität (zu vergl. Bd. I, p. 562). Der Geschmack der Milch ist süsslich. Je nach der Thierart, der sie entstammt, besitzt sie übrigens einen spezifischen Geschmack und Geruch. Frische Milch reagirt amphoter (gr. ἀμφότερος eins wie das andere) d. h. sowohl alkalisch als auch sauer (zu vergl. Bd. I, p. 805). Diese Erscheinung ist die Folge des gleichzeitigen Vorhandenseins alkalischer und sauerer Salze. Ungekochte Milch reagirt durch ihren Gehalt an Kohlensäure stärker sauer als gekochte Milch, letztere reagirt stärker

alkalisch als ungekochte, weil beim Kochen freie und gebundene Kohlensäure ausgetrieben wird und Phosphate zersetzt werden. Frische Milch von Fleischfressern reagirt mehr sauer als die Milch anderer Säugethiere. Frauenmilch reagirt nach Fr. Biedert (zu vergl. Litvz. 1 p. 74), E. Pfeiffer (zitirt bei Biedert 1, p. 74) u. a., nur alkalisch. Näheres über die Ausführung der Reaktion der Milch findet sich bei Biedert.

Die Milchkügelchen sind kleine Fetttropfen, welche nach F. W. Woll (Wisconsin experiment. Station, agricult. science 1892, 6), einen Durchmesser von durchschnittlich 3,7 μ haben und deren Zahl sich auf 1,06 bis 5,75 Millionen in 1 ccm belaufen soll. Sie werden von kolloidalem Nucleoalbumin, Kasein genannt (zu vergl. Bd. I, p. 259), nach Art eines Oberflächenhäutchens (zu vergl. Bd. I, p. 585f) — nicht zu verwechseln mit der vermeintlichen Haptogenmembran, (gr. ἅπτω ich berühre also Berührungshaut) Ascherson's (Müller's Archiv 1840, p. 53) — umgeben, wodurch das Zusammenfliessen des Fettes in dem wässerigen Milchplasma verhindert wird, so dass Milch den Charakter einer wahren Emulsion (zu vergl. Bd. I, p. 588) trägt. Sobald aber das Oberflächenhäutchen durch Erschütterungen, beispielweise durch Schlagen, zerstört wird, kann die Emulsion nicht mehr bestehen bleiben. Dann fliessen sämmtliche Fetttröpfchen zusammen und bilden das sogenannte Butterfett, während das Milchplasma als mehr oder weniger klare, opalescirende, ihrer Formenbestandtheile beraubte Flüssigkeit zurückbleibt. — Nach V. Storck (Abschnitt 3 aus: Konsistens fejt hos Smörret. 36 Beretning fra den Kgl. Veterinar og Landbohöjskoles Laboratorium for landök. Forsög Kjöbenhavn 1897) sollen die Milchkügelchen von einer besonderen, weder aus Kasein noch Lactalbumin bestehenden, sogenannten „Stromasubstanz" (Radenhausen u. Danilewsky: Forschungen auf dem Gebiete der Viehhaltung, Bremen 1880, Heft 9) umhüllt sein. Weil das Milchfett spezifisch leichter ist als das Milchplasma, so steigen die Fettkügelchen bei ruhigem Stehen der Milch an die Oberfläche und sammeln sich daselbst zu einer gelblichen Schicht, Rahm, Sahne, Nidl oder Schmandt genannt, an. Bei Sommerwärme, niedrigem Luftdruck und Lufttrockenheit wird, bei Vermeidung von Erschütterungen, der Vorgang von Rahmbildung (Aufrahmung) beschleunigt. Die entgegengesetzten Bedingungen verlangsamen ihn. Durch Sauerwerden der Milch und die dadurch entstehende Gerinnung wird die Rahmbildung beeinträchtigt. Die Aufrahmung geht anfangs schneller, allmählich langsamer vor sich; zunächst steigen die grösseren Milchkügelchen empor, dann folgen die kleineren nach. Es geht

jedoch nicht alles Milchfett in die Rahmschicht über. Schneller und vollkommener als beim ruhigen Stehen gelingt die Rahmbildung mit Hülfe der Centrifuge (zu vergl. Bd. I, p. 121). Durch das Centrifugiren wird das schwerere Milchplasma weiter vom Centrum fortgeschleudert als das leichtere Fett. — Frische Milch gerinnt beim Sieden nicht, überzieht sich aber mit einer aus geronnenem Kasein und Kalksalzen bestehenden Haut, welche sich nach dem Entfernen rasch erneuert.

Fäulnisswidrigkeit der Milch.

Es ist lange bekannt, dass Milch fäulnisswidrige Eigenschaften besitzt, so dass beispielsweise fein zerhacktes Fleisch, in Milch aufbewahrt, längere Zeit unverändert bleibt. Während man früher die in der Milch sich entwickelnde Milchsäure als die fäulnisswidrige Substanz betrachtete, glaubt man seit den Untersuchungen von H. Winternitz (Zeitschrift für physiolog. Chemie 1892, Bd. 16, p. 460, 486) und P. Seelig (Virchow's Archiv 1896, Bd. 146, p. 53 u. 62), dass die Milch ihre fäulnisshemmende Eigenschaft dem Milchzucker verdanke.

B. Bienstock (Annales de l'Inst. Pasteur 1899, p. 864 und Archiv f. Hygiene, Bd. 36, p. 388) fand, dass gegenüber dem von ihm beschriebenen und Bacillus putrificus (zu vergl. Archiv f. Hygiene, Bd. 36, p. 363 u. 351 ff.) genannten anaëroben Fäulnisserreger rohe Milch zwar die erwähnte antiputride Fähigkeit zeigt, dass dagegen sterilisirte Milch die durch diesen Bacillus, — sei es in Rein-, sei es in Mischinfection — hervorgerufene Fäulniss nicht nur nicht hindert, sondern sogar begünstigt. Man könnte vielleicht geneigt sein zur Erklärung dieser Erscheinung eine durch die Sterilisation hervorgerufene chemische Umwandlung des Milchzuckers in Betracht zu ziehen. Wird jedoch sterilisirte Milch ausser mit dem B. putrificus noch mit Bacterium coli (zu vergl. Bd. I, p. 396) oder Bacillus lactis aërogenes (Escherich) infizirt, so verhält sie sich genau wie rohe Milch, d. h. sie verhindert ebenfalls die Fäulniss. Bienstock schliesst daraus, dass der fäulnissverhindernde Faktor der rohen Milch nicht der Milchzucker sein kann, sondern dass die Ursache in noch näher zu untersuchenden antagonistisch wirkenden Eigenschaften jener Darmbacterien liegt, welche man stets und überall, aus dem Stallmiststaube herrührend, in jeder frischgemolkenen Milch vorfindet. Die von den Darmbakterien herrührende Fäulnisswidrigkeit der Milch wird vielleicht auch eine Erklärung für die bis jetzt noch nicht sicher bekannten Gründe (O. Hammarsten, Lehrb.. d. physiol. Chemie, Wiesbaden, Bergmann 1899, 2. Aufl., p. 304) liefern, warum die Fäulniss im normalen Darmkanal des Lebenden niemals denjenigen Grad erreicht, wie die Fäulniss ausserhalb des Thierkörpers — eine Einrichtung der Natur, die zweifelsohne im Interesse des Organismus liegt (Bienstock: Archiv f. Hygiene, Bd. 36, p. 387).

Bei längerem Stehen bildet sich in der Milch durch bakteritische Zersetzung des Milchzuckers (zu vergl. Bd. I, p. 358 u. 653) freie Säure (Milchsäure). Im Sommer erfolgt diese Umwandlung oft schon in wenigen Stunden, im Winter meist erst nach einigen Tagen. Die Säurebildung führt zur Gerinnung des Kaseins, welches sich mehr oder weniger gallertartig abscheidet. Alle Agentien, welche Abtödtung der Bakterien bewirken, verhindern auch das Sauerwerden und die Gerinnung. Man kann daher diese Veränderung durch Zusatz von gewissen Antisepticis [Salicylsäure (zu vergl. Bd. I, p. 460) 1 : 5000

und anderen Stoffen] verhindern. Das Labenzym des Magens (zu vergl. Bd. I, p. 266) ruft bei Gegenwart genügender Menge Kalksalz, in der Milch ohne Aenderung ihrer Reaktion ebenfalls Kaseingerinnung hervor, die aber mit der Gerinnung durch Säure nichts zu thun hat. Das Gerinnungsprodukt ist auch kein unverändertes Kasein, sondern dieses zerfällt dabei wahrscheinlich in einen ihm nahestehenden Stoff: Parakasein und in eine albumosenartige Substanz: Molkeneiweiss. Diese Zersetzung durch Lab findet zwar auch bei Abwesenheit von Kalksalzen statt, für die Gerinnung jedoch, d. h. für die Ausfällung des Parakaseins sind sie nothwendig (O. Hammarsten: Lehrb. d. physiol. Chemie Wiesbaden, Bergmann 1899, 2. Aufl. p. 398). Eine durch künstliche Einwirkung von Lab ihres Kaseins und ihres gleichzeitig mechanisch mit niedergerissenen Fettes beraubte Milch nennt man süsse Molken, zum Unterschiede der bei der spontanen Gerinnung des Kaseins zurückbleibenden sauren Molken. —

Bereitung und Beschaffenheit der Molken.

Molken werden gelegentlich als Arzneimittel verwendet. Süsse Molken werden zu diesem Zwecke am besten mit Labessenz (Liquor seriparus) bereitet. Diese Essenz wird aus 3 Theilen frischem Lab, weissem Wein (26 Theile) und Kochsalz (1 Theil) dargestellt. Man erwärmt 1 Theil der Essenz mit 200 Theilen frischer Kuhmilch (Ziegenmilch etc.) auf 35° bis 40° C. und kolirt (zu vergl. Bd. I, p. 672) nach dem Gerinnen. Zur Anfertigung sauerer Molken werden 100 Theile frische Milch mit 1 Theil Weinstein (Tartarus depuratus, zu vergl. Bd. I, p. 779) zum Kochen erhitzt und dann kolirt. Bisweilen werden Molken mit Alaun (zu vergl. Bd. I, p. 657 u. 668) oder Tamarindenmus bereitet.

Tamarindenmus (Pulpa Tamarindorum) ist das teigige Mark der reifen Hülsenfrucht des zu der Familie der Caesalpiniaceen gehörigen, in den Tropen wachsenden Baumes Tamarindus indica L., der zur Gewinnung der Drogue namentlich in Westindien kultivirt wird. Vauquelin (Annales de chim. 1790, T. 5, p. 92) war der Erste, welcher sich eingehend mit der Untersuchung der Tamarinden beschäftigte; er und Scheele (Phys. u. chem. Werke; Ausgabe von Hermbstädt, Berlin 1793, Bd. 2, p. 379) fanden darin als wirksame Stoffe Wein-, Citronen- und Aepfelsäure, die meistens an Kalium gebunden sind.

In der Sanskritliteratur (Susrutas Ayurvedas, ed. Hessler 1844, I., p. 141; 1850, III., p. 171) finden sich mehrere Namen für die Tamarinden.

Mittelalterliche persische und arabische Schriftsteller nennen sie „indische Dattel", Tamr. hindi. Das Wort Tamr scheint allgemein Frucht zu bedeuten.

Molken werden als Heilmittel bei Bleichsucht, Blutstockungen im Unterleib, sowie bei chronischen Veränderungen der Athmungswerkzeuge und bei gewissen Herzleiden benutzt. Häufig mischt man Molken auch mit Mineralwässern (Obersalzbrunn, Emser Kränchen etc.). Man vergl. Richter: Ueber Milch- und Molkenkuren, Leipzig, Wigand 1876, p. 20 ff.

Das Kasein, der wichtigste der Eiweisskörper in der Milch, ist ein spezifisches Produkt der Zellen der Milchdrüse. Dies anzunehmen sind wir nach unseren heutigen Anschauungen berechtigt. Unsicher

aber ist es, ob ein Nucleoproteid der Drüsenzellen die Muttersubstanz des Kaseins ist. Nicht einwandsfrei sind die Angaben von K. Basch (Jahrb. f. Kinderheilk. 1898, Bd. 47, p. 90), der das Kasein dadurch entstehen lässt, dass sich die Nucleinsäure der frei gewordenen Zellkerne intraalveolär mit transsudirtem Serum verbindet. — Nach F. von Szontagh [Ungar. Arbeit.: Unters. über den Kaseingehalt in der Frauen- u. Kuhmilch, Referat in: Maly's Jahresbericht, Bd. 22 p. 168) soll das Kasein der Menschenmilch kein Nucleoalbumin sein. Dieselbe Ansicht wird von A. Wroblewsky (Beitrag zur Kenntniss des Frauenkaseins. Inaug.-Diss. Bern 1894, und Mittheilungen aus Kliniken und med. Instituten der Schweiz 1895, p. 291) vertreten. Nach A. Wroblewsky soll das Kasein der Frauenmilch eine andere prozentische Zusammensetzung haben, als Kuhkasein. Für Frauenkasein fand er im Mittel (p. 319): C 52,24; H 7,325; N 14,97; P 0,679; S 1,117; O 23,66 %, während Kuhkasein enthält: C 53,0; H 7,0; N15,7; P 0,85; S 0,8; O 22,65 %.

K. Storch (zu vergl. Litvz. Arbeit 1) hat gefunden, dass sich das Kasein der Kuhmilch durch Sättigung derselben mit Natriumsulfat, Magnesiumsulfat und Chlornatrium nicht unverändert ausscheiden lässt, wenn jeder dieser Stoffe für sich angewandt wird, sondern dass es in zwei phosphorhaltige Substanzen gespalten wird. Die genaue Untersuchung derselben (Litvz. Storch's 2. Arbeit) hat ergeben, dass die eine ein Nucleoalbumin, die andere ein Nucleohiston (Nucleoproteid) ist. Storch giebt die Reindarstellung, die Elementaranalyse und das chemische Verhalten der beiden Körper. Ueber Darstellung, Eigenschaften und Verhalten des Kaseins der Frauenmilch und dessen Unterschiede von dem Kasein der Kuhmilch hat neuerdings Erwin Kobrak Untersuchungen angestellt und dieselben im Archiv für die gesammte Physiologie 1900, Bd. 80, p. 69 veröffentlicht.

Ausser dem Kasein findet sich in der Milch von Eiweisskörpern noch das Lactalbumin (Prozent, Zusammensetzung C 52,19, H 7,18; N 15,77; S 1,73; O 23,13), welches zuerst von I. Sebelien (Zeitschrift f. physiol. Chemie 1885, Bd. 9, p. 453) aus Milch erhalten wurde und durch Hitze (72—84° C.) gerinnt, sowie das Lactglobulin, das ebenfalls von Sebelien (daselbst p. 446) beschrieben wurde. In der Menschenmilch, später auch in Stuten- und Kuhmilch, fand A. Wroblewsky (Anzeiger der Akad. der Wissensch. in Krakau 1898, Oktober p. 344, Zeitschrift f. physiol. Chem. 1898/99 Bd. 26, p. 308) noch einen, in anderen Milchsorten fehlenden Eiweisskörper mit der Zusammensetzung: C = 45,01; H = 7,31; N = 15,07; P = 0,80; S = 4,70; O = 27,11 %. Er nannte denselben wegen der Opalescenz der Lösungen Opalisin.

Alle diese Stoffe scheinen nicht etwa direkt aus dem Blute in die Milch überzugehen, sondern ebenfalls in der Milchdrüse gebildet

zu werden, hierfür spricht der Umstand, dass Lactalbumin und Lactglobulin mit Serumalbumin und Serumglobulin nicht identisch sind. —

Der in aller Milch vorkommende Milchzucker (Lactose zu vergl. Bd. I, p. 255) wird zweifelsohne von der Milchdrüse geliefert, da er im Blute überhaupt nicht vorkommt. Bei der Spaltung des Milchzuckers durch Mikroorganismen (zu vergl. Bd. I, p. 358ff.) wird ein Theil desselben in Galactose (zu vergl. Bd. I, p. 255) übergeführt.

Das von den Drüsenzellen gelieferte, zum Theil vielleicht auch aus dem Blute stammende, oder aus Kohlenhydraten des Blutes in der Drüse gebildete Fett ist ein Gemisch verschiedener Fettstoffe, insbesondere besteht es aus den Neutralfetten Palmitin, Oleïn und Stearin, daneben enthält es auch eine Reihe flüchtiger Fettsäuren. Das nicht flüchtige Fett besteht zu $^{3}/_{10}$ bis $^{4}/_{10}$ aus Oleïn; $^{6}/_{10}$ bis $^{7}/_{10}$ sind ein Gemenge von Palmitin und Stearin. Das Oleïn ist flüssig und hält die beiden anderen Fette bei Körperwärme in Lösung.

Die Menge des Milchfettes hängt von den aufgenommenen Nährstoffen ab. Beim Vieh soll Grünfutter mehr Oleïn, Trockenfutter mehr Palmitin und Stearin erzeugen. — Ebenso wie unterkühltes Wasser bei völliger Ruhe flüssig bleibt, (zu vergl. Bd. I, p. 635), erhält sich auch das Milchfett bei Temperaturen, die niedriger als die des Körpers sind, flüssig. Wie aber unterkühltes Wasser durch Erschütterungen fest wird, so geht auch das unterkühlte Milchfett durch Erschütterungen, nach Verlust des Oberflächenhäutchens und Zusammenfliessen der Tröpfchen, in den festen Aggregatzustand über. Es bildet sich der sogenannte Butterklumpen. Die durch Maschinenbetrieb oder Menschenhände hergestellte Butter enthält ausser Fett noch Wasser und einen Theil der übrigen Milchbestandtheile. Je nach dem mehr oder weniger vollständigen Grade der Butterung enthält Butter 80—84 % Fett; 14—16,5 % Wasser; 2—3,5 % Kasein und Milchzucker; 0,1 – 0,2 % Salze. Entbutterte Milch heisst Buttermilch (spez. Gew. 1,032—1,035); ihre Zusammensetzung ist nach Kirchner: 90,5 % Wasser; 3,75 % Eiweiss; 4,15 % Zucker; 0,85 % Fett; 0,75 % Salze.

In jeder Milch findet sich, wie M. Siegfried (Zeitschrift f. physiol. Chemie 1895/96, Bd. 21, p. 373 u. 1896/97, Bd. 22, p. 575) gezeigt hat, ein in näherer Beziehung zu den Nucleinen stehender Stoff, der deswegen Milchnucleon (Milchphosphorfleischsäure) genannt wurde. Das Milchnucleon ist dem ebenfalls von H. Siegfried (Archiv f. Physiologie 1894, p. 401, Berichte der deutsch-chem. Ges., 1895; Jahrg. 28, p. 515; Zeitschrift f. physiol. Chemie

1895/96 Bd. 21, p. 360) entdeckten und von Martin Müller (Zeitschrift f. physiol. Chemie Bd. 22, p. 561; Th. Rich. Krüger (daselbst Bd. 22, p. 95); P. Balke und Ide (daselbst Bd. 22, p. 248, Bd. 21, p. 380) näher studirten Fleischnucleon (Muskelphosphorfleischsäure) verwandt. Das Milchnucleon kann aus der von Kasein und gerinnbarem Eiweiss, sowie von ihren Erdphosphaten befreiten Milch, ebenso wie Fleischnucleon aus enteiweisstem Muskelextrakt als Eisenverbindung (Lactoferrin — Carniferrin) niedergeschlagen werden.

An Extraktivstoffen lassen sich aus frischem Milchplasma Spuren von Harnstoff, Kreatin (gr. τὸ κρέας das Fleisch), Kreatinin, Lecithin (gr. ἡ λέκιθος der Eidotter) und Cholesterin (gr. ἡ χολή die Galle) erhalten.

Als Salze finden sich in der Milch Calcium, Kalium, Natrium, Magnesium und Eisen in Verbindung mit Phosphorsäure, Schwefelsäure, Kohlensäure, Citronensäure (nach Vaudin [Ref. im Archiv f. Kinderheilk. Bd. 20, p. 98] herrührend von der Zersetzung des Milchzuckers in der Drüse) und Chlor. Ein Theil des Kalkes ist an Kasein gebunden. Zwischen der Menge der Salze der Milch und ihrer Menge im Körper des Säuglings bestehen nach G. von Bunge (Zeitschrift f. Biol. 1874, Bd. 10, p. 295; Archiv f. Anat. u. Physiol. 1886, physiol. Abthlg. p. 539; Zeitschrift f. physiol. Chem. Bd. 13, p. 399) beim Hunde bestimmte Beziehungen und zwar in der Art, dass die Salze in der Milch der Mutter und im Körper des Säuglings in annäherend demselben relativen Verhältniss vorkommen. Milchasche ist etwas kalireicher und natronärmer als die Asche des neugeborenen Organismus. Dieser Umstand findet darin seine Erklärung, dass in dem wachsenden Körper die kalireiche Muskulatur relativ zunimmt, die natronreiche Knorpelsubstanz relativ abnimmt.

E. Abderhalden (Zeitschrift f. physiol. Chemie 1899, Bd. 26, p. 498 u. Bd. 27, p. 356 ff.) ist für das Kaninchen und Meerschweinchen hinsichtlich der Mengenverhältnisse der Mineralstoffe in der Muttermilch und im Säuglingskörper zu denselben Resultaten gekommen. Abderhalden betont, dass es für die Deutung der Secretionsthätigkeit der Milchdrüsenzellen eine interessante und wichtige Thatsache sei, dass die Zusammensetzung der Milchasche von derjenigen des Blutes und des Blutserums völlig unabhängig gefunden werde. An Eisen ist die Asche des Hundesäuglings nach von Bunge sechsmal reicher als die Milchasche. Dies soll sich daraus erklären, dass der Eisengehalt der Körpergewebe bei der Geburt am höchsten ist, der Säugling also den für sein Wachsthum erforderlichen Eisen-

vorrath bei der Geburt mit auf den Lebensweg erhält. Für das Kaninchen fand Abderhalden diese Thatsache bestätigt. Beim Meerschweinchen dagegen ist die Differenz sehr gering, da sich dieses Thier in Bezug auf seinen Eisengehalt anders verhält als andere Thiere. Nach von Bunge, Fr. Pröscher (Zeitschrift f. physiol. Chemie 1898, Bd. 24, p. 285) und C. Pagès (Arch. de physiol. [5] T. 7, p. 591, Ref. von M. E. Gley) steht die Menge der mineralischen Milchbestandtheile, insbesondere die Menge des Kalkes und der Phosphorsäure in naher Beziehung zu der Wachsthumsenergie des Säuglings. Für rasch wachsende Thierarten liefert die Muttermilch eine grössere Menge Mineralstoffe als für langsam wachsende Thierarten. Abderhalden (Zeitschrift f. physiol. Chemie 1899, Bd. 27, p. 408 ff.) hat diese Thatsache beim Hund, Schwein, Schaf, Meerschweinchen und bei der Ziege bestätigt gefunden. Nach Pröscher besteht ein analoger Zusammenhang zwischen Eiweissgehalt der Milch und Wachsthumsgeschwindigkeit des Säuglings.

Die Gase der Milch bestehen namentlich aus Kohlensäure, etwas Stickstoff und Sauerstoff (zu vergl. E. Pflüger, Archiv f. die gesammte Physiol. 1869, Bd. 2, p. 166). In der Frauenmilch fand E. Külz (Zeitschrift f. Biologie Bd. 32) für 100 ccm 1,07 bis 1,44 ccm Sauerstoff, 2,35 bis 2,87 ccm Kohlensäure und 3,37 bis 3,81 ccm Stickstoff.

Nachstehende Tabelle giebt die mittlere Zusammensetzung der wichtigsten Bestandtheile der Milch verschiedener Säugethiere:

In 100 Theilen	Kuh	Ziege	Schaf	Eselin	Stute	Sau	menschl. Weib
Wasser	87,4	87,3	84,0	92,5	90,0	82,4	90,2
Feste Stoffe	12,6	12,7	16,0	7,5	10,0	17,6	9,8
Kasein	2,9	3,0	} 5,3	} 1,7	} 1,9	} 6,1	} 1,5
Albumin	0,5	0,5					
Fett	3,7	3,9	5,4	0,4	1,1	6,4	3,1
Zucker	4,8	4,4	4,1	5,0	6,7	4,0	5,0
Salze	0,7	0,8	0,7	0,9	0,3	1,1	0,2

Ausführlicheres über die Zusammensetzung der Milch verschiedener Thiere findet man bei Fr. Pröscher (Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 24, 1898, p. 285 ff.).

Die chemische Zusammensetzung des Kolostrums (Spez. Gew. von Kuhkolostrum 1,0299 bis 1,0594, von Frauenkolostrum 1,040 bis 1,060) weicht von der der Milch ab; es enthält mehr Eiweiss und speziell mehr

Albumin und Globulin als Kasein. Der Gehalt an Zucker und Fett ist im Kolostrum geringer, der Salzgehalt grösser als in der Milch. Wegen des grösseren Gehaltes an Globulin und Albumin gerinnt Kolostrumflüssigkeit beim Sieden. (H. Tiemann: Zeitschrift f. physiol. Chemie 1898. Bd. 25. p. 363).

Höhenvieh giebt eine an Fett und festen Stoffen reichere Milch als Niederungsvieh, dagegen ist der Zuckergehalt der Milch bei letzterem grösser.

Weil bei niedrigen Temperaturen die aufgenommene Nahrung besonders für die Wärmeproduktion in Betracht kommt, so wird unter solchen Verhältnissen weniger Milch gebildet. Häufiges Abmelken, beziehungsweise die reflektorische Anregung des Saugens erhöhen nach Heidenhain die Produktion der Milchkügelchen und somit den Fettgehalt der Milch. Daher ist Abendmilch fettreicher als Morgenmilch. Fettreiche Nahrung kann, wie Soxhlet (Wochenbl. d. landw. Vereines in Bayern 1896, 86, p. 717) gezeigt hat, den Fettgehalt der Milch vergrössern, falls das Fett in aufnahmefähiger und verdaulicher Form vorhanden ist. Der Fettgehalt der Milch hängt überdies von dem Eiweissgehalt der Nahrungsmittel ab und steigt mit letzterem. Dasselbe gilt auch für den Eiweissgehalt der Milch.

Fett- und Eiweissmenge der Kuh- und Ziegenmilch vergrössern sich, wenn man den Thieren als Beifutter Kleie (zu vergl. Bd. I, p. 366) reicht. Da stickstofffreie Nahrungsmittel Eiweisssparer im Stoffumsatz sind, so stellen auch sie der Milchbildung indirekt Eiweiss zur Verfügung. Der Zuckergehalt der Milch hängt nicht so sehr von dem Gehalt des Nahrungsmateriales an Kohlenhydraten als vielmehr ebenfalls von seinem Gehalt an Eiweisskörpern ab.

In Bezug auf den Wassergehalt der Milch ist zu bemerken, dass Morgenmilch am wasserreichsten, Mittagsmilch am konzentrirtesten ist.

Was die Menge der von Kühen während der Laktationsperiode gelieferten Milch anbelangt, so unterliegt sie nicht unbeträchtlichen Schwankungen, die in innigem Zusammenhange mit den verschiedensten inneren und äusseren Einflüssen stehen. Gute Milchkühe geben während der etwa 300 Tage dauernden Laktationsperiode 10 Liter Milch täglich, in einzelnen Fällen sogar 18 bis 22 Liter. Von geringeren Milchkühen, bei denen die Laktationsperiode nur 180 bis 240 Tage dauert, erhält man etwa nur 4 Liter täglich. Im Allgemeinen ist der Milchertrag im 1. und 2. Monat nach dem Kalben am grössten, um dann allmählich auf $^1/_2$ bis $^1/_3$ herunterzugehen. Der Weidegang mit mässiger Bewegung erhöht den Milchertrag, deswegen sucht man vom Standpunkte des Landwirthes und Thierzüchters das Kalben in die Wintermonate zu verlegen, um die im Frühjahre gesunkene Milchproduktion durch den Weidegang wieder zu heben. Auch das Alter ist für den Milchertrag nicht belanglos; bis zum fünften und sechsten Kalben

nimmt er zu, von da ab tritt mit Rückgang der Stoffwechselenergie Abnahme ein. Ganz wesentlich hängt der Milchertrag auch von der Entwickelung und Grösse der Milchdrüsen ab. Ziegen liefern das 10 bis 12fache ihres Eigengewichtes Milch jährlich, friesische Schafe geben für jedes kg ihres Körpers vier kg Milch im Jahre. Eine gesunde Frau liefert 1 bis 1½ Liter Milch täglich.

Als äussere Merkmale einer reichlichen Milchproduktion der Kühe werden von einigen Landwirthen angeführt: zarter Knochenbau, helle Farbentöne von Haut und Haar, stark entwickelter Hintertheil (Nachhand) mit geräumigem Becken, weitem Bauch und grossem Euter. Zu den guten Milchzeichen gehören nach Einigen noch deutlich hervortretende Brust- und Bauchvenen (Milchadern), sowie ein grosser Milchspiegel, d. h. die Hautfläche zwischen Euter und Scheide, auf welcher der Strich der Deckhaare nach oben verläuft, also ihrer Richtung an den Hinterschenkeln entgegengesetzt ist.

Es sei noch erwähnt, dass mancherlei dem Körper einverleibte Stoffe in die Milch übergehen. Dahin gehören viele Arzneimittel. Es ist dies wichtig zu wissen, da auf diese Weise eine direkte Wirkung auf den Säugling ausgeübt werden kann. (Zu vergl. F. Klingemann: Virchow's Archiv 1891, Bd. 126, p. 72 [dort auch weitere Literatur; K. giebt an, dass Alkohol erst in die Milch übergeht, wenn die Dosis 46 bis 57 ccm übersteigt.]) Gewisse Stoffe, beispielsweise flüchtige Oele (Anis etc.) können bei mangelnder Thätigkeit der Milchdrüse den Reflexreiz auf die Warze steigern und die Menge der abgesonderten Milch vergrössern. Derartige Stoffe können daher als Galactagoga (gr. τὸ γάλα, ακτος die Milch u. ἀγωγός antreibend) betrachtet werden. Im Viehfutter geben beigemengte Oelkuchen der Milch einen öligen und ranzigen Geschmack. Laucharten und gewisse Doldenpflanzen, welche vom Vieh gefressen werden, ertheilen der Milch den Geruch und Geschmack dieser Pflanzen. Bei Fütterung mit Trebern, Schlempe und Rüben erhält die Milch häufig einen strengen Beigeschmack, wird fettärmer und zeigt Tendenz zum Sauerwerden.

Physikalisch-chem. Untersuchungen über Milch.

In neuester Zeit haben die vergleichenden Untersuchungen über menschliche und thierische Milch ein wichtiges Hülfsmittel in gewissen Lehren der physikalischen Chemie erhalten, auf deren weittragende Bedeutung für die Biologie in diesem Buche bereits mehrfach hingewiesen wurde. Der letzte Zweck aller Milchuntersuchungen ist gewiss darin zu erblicken, die Beschaffenheit der Milch als Nahrungsmittel, insbesondere die Verwendung der Frauen- und Kuhmilch zur Ernährung des Menschen im Säuglingsalter möglichst vortheilhaft zu gestalten. Dieser Zweck rechtfertigt die Nothwendigkeit der Milchuntersuchung mit Hülfe der verschiedensten Methoden.

Ein Punkt, in welchem unsere Kenntnisse noch gering sind, ist das Verhalten und die Bedeutung der Milchsalze bei der

Ernährung, und über diesen Punkt hat neuerdings die physikalische Chemie Klarheit zu verbreiten versucht.

Die chemische Analyse der Mischasche giebt, wie wir gesehen haben, nur Aufschluss über die Art und Menge der Salze, welche man durch Veraschen der Milch erhält, sie sagt aber nichts darüber aus, in welcher molekularen Form dieselben in der Milch auftreten, und welche Eigenschaften ihnen in gelöstem Zustande zukommen. Den Schlüssel zum Verständniss dieser Erscheinungen liefert die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung der Milch und die Bestimmung ihrer elektrischen Leitfähigkeit. Nach dieser Richtung hin hat H. Koeppe verdienstvolle Beobachtungen angestellt und darüber in seiner Giessener Habilitationsschrift: „Vergleichende Untersuchungen über den Salzgehalt der Frauen- und Kuhmilch" Leipzig; Teubner 1898 (auch: Jahrbuch für Kinderheilkunde, Bd. 47, p. 389) sowie in seinem Buche: Physikalische Chemie in der Medizin; Wien, Hölder 1900, Abschnitt 10, p. 95 ff. berichtet. — Man kann die Zahl der in einem Liter Lösung enthaltenen gelösten Molekeln aus der experimentell festgestellten Gefrierpunktserniedrigung (zu vergl. Bd. I, p. 846 f.) der Lösung berechnen. Es sinkt nämlich der Gefrierpunkt einer Lösung proportional der Konzentrationszunahme derselben (zu vergl. Bd. I, p. 841), mit anderen Worten: Die Gefrierpunktserniedrigung wächst proportional der Zahl der in der Lösung vorhandenen Molekeln.

Untersuchung d. Milch unter Berücksichtigung ihrer Gefrierpunktserniedrigung und elektrischen Leitfähigkeit.

Da eine wässerige Lösung, welche 1 Grammmolekel (zu vergl. Bd. I, p. 175) eines Stoffes oder 1 Mol (zu vergl. W. Ostwald: Hand- und Hülfsbuch zur Ausführung physico-chemischer Messungen, Leipzig, Engelmann 1893 p. 278 Anmerkung), seien es elektrisch neutrale Molekeln oder seien es Ionen, im Liter enthält, eine Gefrierpunktserniedrigung von 1,85° C. besitzt, eine Lösung mit n Molen, also eine Erniedrigung von n . 1,85° C. zeigt, so ergiebt sich in der That aus der Gefrierpunktserniedrigung Δ einer wässerigen Lösung ihr Gehalt an Molen aus dem Quotienten $\frac{\Delta}{1,85}$. Milch, die ja eine wässerige Lösung ist, mit der Gefrierpunktserniedrigung von Δ^0, enthält demnach im Liter $\frac{\Delta}{1,85}$ Molen. Aus der Zahl der in einem Liter Lösung vorhandenen Molen n lässt sich nun auch der osmotische Druck P (zu vergl. Bd. I, p. 786 f.) der Lösung in Atmosphären berechnen und zwar nach der Gleichung $P = 22,33\ (1 + \alpha t)\ n$. Für den osmotischen Druck bei 0°, wenn also $t = 0$ ist, hat man demnach $P = 22,33 . n$ At. Da

sich n aus der Gefrierpunktserniedrigung zu $\frac{\varDelta}{1,85}$ ergiebt, so erhält man $P = 22,33 \,.\, \frac{\varDelta}{1,85} = 12,07 \,.\, \varDelta$. Ein Liter Milch mit der Gefrierpunktserniedrigung $\varDelta$ kann somit bei 0° C. einen osmotischen Druck von 12,07 $\varDelta$ At. ausüben. An diesem osmotischen Druck betheiligen sich hauptsächlich der Milchzucker und die Salze. Der Eiweissgehalt der Milch in Molekeln gerechnet, ist bei dem hohen Molekulargewicht der Proteinkörper ein sehr geringer; es können daher diese Körper nur einen unbedeutenden Antheil an der Gefrierpunktserniedrigung und am osmotischen Druck haben (zu vergl. Bd. I, p. 794). Das Fett, als nicht gelöst, kommt hierbei nicht in Betracht.

Weitere Aufschlüsse über die molekularen Verhältnisse der Milch erhält man durch die Bestimmung ihrer elektrischen Leitfähigkeit (zu vergl. Bd. I, p. 812 f.). Dieselbe erlaubt Schlussfolgerungen über das Vorhandensein und die Menge von Ionen (zu vergl. Bd. I, p. 805 ff.) in der Milch. Je reicher eine Lösung an Ionen ist, desto mehr Elektricität kann durch dieselben von einer Elektrode an die andere gebracht werden, mit anderen Worten, desto besser ist die Leitfähigkeit der Lösung. Ist nun die Leitfähigkeit bekannt, so ist damit auch ein Werth für den Gehalt der Flüssigkeit an Ionen gegeben.

Mit einer Mischmilch von vielen Kühen hat H. Koeppe an elf verschiedenen Tagen Bestimmungen über Gefrierpunktserniedrigung und elektrische Leitfähigkeit angestellt.

Der höchste Werth für die elektrische Leitfähigkeit l war $45,8 \,.\, 10^{-8}$, der niedrigste Werth betrug 42,0, und der Mittelwerth 43,8. Der höchste Werth für die Gefrierpunktserniedrigung $\varDelta$ ergab sich zu 0,580° C., der niedrigste Werth belief sich auf 0,545° C. und der Mittelwerth auf 0,562° C.

Unter Benutzung des Mittelwerthes für die Gefrierpunktserniedrigung berechnete Koeppe den osmotischen Druck eines Liters Kuhmischmilch auf 6,8 At. und die Anzahl der Molen zu 0,304. Die gleichen Untersuchungen an nicht gemischter Milch einzelner Kühe ergaben, dass die Milch jeder Kuh verschieden ist, dass das Gemelk verschiedener Tageszeiten, aber von derselben Kuh, ebenfalls verschieden ist, ja dass sogar eine Verschiedenheit zu Anfang und Ende desselben Gemelkes vorhanden ist.

Es stellte sich ferner heraus, dass Morgenmilch eine grössere Gefrierpunktserniedrigung besitzt als Abendmilch, d. h. dass erstere reicher an osmotisch wirksamen Molekeln ist.

An Frauenmilch führten die Untersuchungen zu folgenden Ergebnissen: 1. Gefrierpunktserniedrigung und Leitfähigkeit der Milch verschiedener Frauen schwanken in weiten Grenzen, erstere zwischen 0,495° C. und 0,630° C., letztere zwischen 14,9 und 84,3. 2. Für dieselbe Frau zeigen sich Unterschiede der einzelnen Werthe sowohl an verschiedenen Tagen, wie auch zu verschiedenen Zeiten desselben Tages. Einen bedeutenden Einfluss auf die Beschaffenheit jeder Milch scheint der Salzgehalt der Nahrungsstoffe auszuüben. Bei hohem Salzgehalt derselben wird die Milch konzentrirter und die Absonderung in der Milchdrüse erhöht.

Koeppe vergleicht alsdann seine Untersuchungen mit den Ergebnissen der chemischen Analyse. Söldner (Zeitschrift für Biologie, 1896, p. 555) fand in der Stuttgarter Marktmilch:

Fett 3,42; Lactoseanhydrit 4,25; Eiweiss und unbekannte Stoffe 3,22; Citronensäure 0,18; Asche 0,70 auf 100 g Milch.

Bei 4,25 % Milchzucker (Molekulargewicht rund: 342) wären 42,5 g oder $\frac{42,5}{342} = 0,124$ Molen Zucker in 1 Liter Milch.

Bei 0,18 % Citronensäure (Molekulargewicht rund: 210) enthält das Liter $\frac{0,18}{210} = 0,008$ Molen dieses Stoffes.

Bekannte Molen sind also $0,124 + 0,008 = 0,132$ vorhanden. Subtrahirt man diese Zahl von den durch Koeppe in der Kuhmilch gefundenen 0,304 Molen, so bleiben noch $0,304 - 0,132 = 0,172$ Molen unbekannter Art, welche auf den Gehalt der Milch an Eiweiss und Salzen entfallen. — Da der osmotische Druck der in der Milch enthaltenen Eiweisskörper ein verschwindend kleiner ist, so kommen die 0,172 Molen fast ausschliesslich den Salzen zu. Da diese sich in der Milch in wässeriger Lösung befinden, so muss ein Theil ihrer Molekeln dissociirt, also in Ionenform vorhanden sein, sonst würde die Milch den elektrischen Strom nicht leiten. Vergleicht man Milch von der mittleren Leitfähigkeit 43,8 mit Lösungen von gleicher Leitfähigkeit, in denen die Ionenzahl bekannt ist, so lässt sich annäherend auf die Anzahl der Ionen in der Milch schliessen. Zum Vergleiche dürften in erster Linie die Lösungen der Chloride des Kaliums und Natriums in Betracht zu ziehen sein; denn die Ionen $\overset{+}{K}$, $\overset{+}{Na}$ und $\overset{-}{Cl}$ sind in der Milch hauptsächlich vorhanden. Auf diese Weise berechnete Koeppe, dass in der Kuhmilch etwa 0,072 Molen als Ionen auftreten, so dass noch $0,172 - 0,072 = 0,1$ Molen nicht dissociirter Salze für die Stromleitung zwar nicht in Betracht

kommen, wohl aber osmotisch wirksam sind. Diese 0,1 Molen Salze können auch an organische Stoffe gebunden sein. Das Vorhandensein elektrisch neutraler Salzmolekeln in der Milch lässt sich auch mit Benutzung der Aschenanalyse zahlenmässig feststellen.

Es lässt sich berechnen, wie viele Molen Salze in 1 Liter Milch enthalten sind, wenn alles Salz in Ionenform vorhanden wäre. Aus der Gefrierpunktserniedrigung ergiebt sich die wirklich vorhandene Zahl der Molekeln, also zeigt die Differenz die Zahl der elektrisch-neutralen Molekeln an.

Mit Benutzung einer Aschenanalyse von Bunge's berechnete Koeppe, dass sich in 1 Liter Kuhmilch mindestens 0,043 Molen elektrisch neutrale Molekeln finden. Diese betreffen den Kalk und die Phosphorsäure, welche beide in der Milch in organischer Bindung auftreten, wahrscheinlich aber auch einen Theil des Kaliums und Natriums.

Weitere Untersuchungen stellte Koeppe mit Frauenmilch an. Dieselbe enthält nach Söldner (Zeitschrift f. Biologie, 1896, p. 568) in 1 Liter:

31,1 g Fett; 63,6 g Lactoseanhydrit; 2,44 g Asche; 0,5 g Citronensäure und 19,5 g Eiweiss und unbekannte Stoffe. Der Aschengehalt von 2,44 g in 1 Liter, also von 0,244 % stimmt mit Analysen von Bunge's überein. Koeppe benutzte nun die letzteren (Mittelwerthe aus 2 bis 9 Analysen [Zeitschrift für Biologie Bd. 10, p. 315 u. 316]) für seine physikalisch-chemischen Betrachtungen. Die Werthe sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

1 Liter Frauenmilch enthält nach v. Bunge

Kali	0,824 g	entspricht	0,0175	Molen	Kaliumionen
Natron	0,261 g	„	0,0084	„	Natriumionen
Kalk	0,335 g	„	0,0060	„	Calciumionen
Magnesia	0,0645 g	„	0,0016	„	Magnesiumionen
Eisenoxyd	0,0048 g	„	0,00006	„	Eisenionen
	1,4893 g		0,03356	Molen	Kationen.
Chlor	0,477 g	entspricht	0,01315	Molen	Chlorionen
Phosphorpentoxyd	0,4705 g	„	0,00662	„	Phosphorsäureionen
	0,9475 g		0,01977	Molen	Anionen.

Durch Kombination der Gefrierpunkts- und Leitfähigkeitsbestimmung mit der chemischen Analyse hat Koeppe drei Berechnungen ausgeführt.

1. Rechnung: Aus der Gefrierpunktserniedrigung ergeben sich
$\frac{0,589}{1,85} = 0,3183$ Molen in 1 Liter Frauenmilch.

Nach der chemischen Analyse erhält man für 63,6 g Lactoseanhydrit (Söldner) $\frac{63,6}{342} = 0,1859$ Molen. Aus der Aschenanalyse berechnen sich 0,0335 Molen Kationen, es müssen also auch ebenso viele Anionen vorhanden sein, und die Gesammtmenge der Ionen würde sich demnach auf 0,0670 Molen belaufen.

Es wurden aber nur 0,01977 Molen Anionen aus der Aschenanalyse berechnet. Dass die Werthe der beiden Arten von Ionen nicht übereinstimmen, erklärt sich aus dem Umstande, dass in der Milch noch Hydroxylionen enthalten sind, und dass ausser den Ionen $\overset{\equiv}{PO_4}$ noch $\overset{=}{HPO_4}$-ionen auftreten können. Jedenfalls erhält man die Gesammtzahl der Ionen durch Verdoppelung der Kationenzahl nicht zu niedrig. Da nun den aus der Gefrierpunktserniedrigung ermittelten 0.318 Molen nur $2 \,.\, 0,0335 = 0,0670 + 0,1859 = 0,2529$ aus der chemischen Analyse berechnete Molen Ionen als grösste Zahl gegenüberstehen, so heisst das:

In der Frauenmilch sind mehr osmotisch wirksame Molekeln vorhanden, als sich mit Hülfe der chemischen Analyse aus dem Aschen- und Milchzuckergehalte ergeben.

Die 2. Rechnung betrifft das Maass, welches die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit für die Zahl der vorhandenen Ionen liefert. Aus der Aschenanalyse ist ersichtlich, dass der grösste Theil der Ionen durch die Kalium- und Chlorionen gebildet wird.

Sucht man nun eine Chlorkaliumlösung von der gleichen Leitfähigkeit, wie Milch sie besitzt, und berechnet dann für diese Lösung die Zahl der Ionen, so wird diese ungefähr dieselbe wie für Milch sein. Den Mittelwerth von 22,6 für die elektrische Leitfähigkeit der Frauenmilch liefert annäherend auch eine $^1/_{50}$ normale Chlorkaliumlösung. Bei einer derartigen Verdünnung der letzteren, also 0,02 g Mol. Kaliumchlorid im Liter, dürfte wohl eine totale Dissociation dieses Salzes anzunehmen sein. Es würde dann die Lösung 0,04 Molen in Ionenform enthalten und ebensoviele wären auch in 1 Liter Frauenmilch anzunehmen.

Wenn nun die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit von Frauenmilch auf einen Gehalt von 0,04 Molen in Ionenform schliessen lässt, und die chemische Analyse als höchste Zahl 0,067 Ionen ergiebt, so geht daraus hervor: dass von unorganischen Salzen der Frauenmilch ein Theil als neutrale, wahrscheinlich organisch gebundene Molekeln vorhanden ist.

3. Rechnung. Da die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung 0,3183 Molen osmotisch wirkende Moleken, die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit 0,04 Molen Ionen liefert, so bleiben noch 0,3183 — 0,04 = 0,2783 Molen osmotisch wirkender Molekeln übrig.

Bringt man von diesen noch die 0,1859 Molen Milchzucker in Abzug, so erhält man 0,2783—0,1859=0,0924 Molen. Neutrale anorganische Molekeln können nach Rechnung 2 $\frac{0{,}067-0{,}04}{2}=0{,}0135$ Molen vorhanden sein, oder auch 0,067—0,04=0,027 Molen anorganischer Molekeln in organischer Bindung, es bleiben also jedenfalls noch 0,0924—0,027=0,0654 Molen neutrale, nicht leitende osmotisch wirksame Molekeln organischer Natur übrig, für welche nach der chemischen Analyse nur noch Fett, Eiweiss und unbekannte Stoffe disponibel sind. Von diesen kommt das Fett osmotisch nicht in Betracht. Es müssen daher entweder die Eiweissmolekeln der Frauenmilch osmotisch wirksam sein und folglich ein relativ kleines Molekulargewicht haben, oder es giebt in der Frauenmilch noch unbekannte osmotisch wirksame Molekeln.

Wenn die chemischen Analysen bisher ergeben haben, dass Frauenmilch hinsichtlich ihres Gehaltes an Kasein absolut und relativ — im Verhältniss zur Albuminmenge — ärmer, hinsichtlich ihres Gehaltes an Milchzucker dagegen reicher als Kuhmilch ist, wenn ferner Frauenmilch reicher an Nucleon und Lecithin, aber ärmer an Mineralstoffen ist als Kuhmilch, so haben die Untersuchungen Koeppe's gezeigt, dass ausser diesen Unterschieden zwischen den beiden Milcharten in einem Punkte auch annäherende Uebereinstimmung besteht.

Diese betrifft die Gefrierpunktserniedrigung und somit die Molekelzahl und ferner den osmotischen Druck, wie aus folgender Tabelle hervorgeht:

	Gefrierpunkts-erniedrigung	Molekelzahl eines Liters Milch	osmot. Druck bei 0° eines Liters Milch
Kuhmilch	0,562°	0,304 Molen	6,8 At.
Frauenmilch	0,589°	0,318 Molen	7,1 At.

Wenn nun Frauen- und Kuhmilch sich in ihrem Gehalte an Eiweiss, Zucker und Salzen durchaus verschieden verhalten, so entsteht die Frage, wodurch die soeben erörterte Gleichartigkeit verursacht wird. Gleichheit des osmotischen Druckes wird durch Gleich-

heit der Molekelzahl in der Maasseinheit bedingt. Es müssen demnach in beiden Milcharten gleich viel osmotisch wirksame Molekeln vorhanden sein. Mit Vernachlässigung der Eiweissmolekeln ist demnach die Summe der Salz- und Zuckermolekeln in beiden Milcharten dieselbe.

Wenn also die eine Milch mehr Molekeln Zucker enthält, so muss sie dafür weniger Molekeln Salze besitzen und umgekehrt, die salzreichere Milch muss ärmer an Zuckermolekeln sein. Obwohl sich diese Wechselbeziehung zwischen Milchzucker und Salzen mittels der chemischen Analyse deutlich erkennen lässt, so giebt letztere uns doch keinen Aufschluss über die molekulare Beschaffenheit der in Rede stehenden Bestandtheile. — Aus der elektrischen Leitfähigkeit der beiden Milcharten, mit dem Durchschnittswerth von 22,3 für Frauenmilch und 43,8 für Kuhmilch, ist ersichtlich, dass die Zahl der Ionen absolut genommen in der Kuhmilch doppelt so gross ist als in der Frauenmilch. Vergleicht man aber die Zahl der aus der Leitfähigkeit bestimmten Ionen mit der aus der Asche berechneten grösstmöglichen Zahl der Ionen, so findet man in der Kuhmilch 0,072 Molen Ionen wirklich vorhanden und 0,215 Molen Ionen aus der Asche berechnet, während in Frauenmilch 0,04 Molen Ionen vorhanden sind und 0,067 Molen Ionen berechnet werden. Das Verhältniss der vorhandenen zu den möglichen anorganischen Ionen ist demnach bei der Kuhmilch 0,072 : 0,215 oder 1 : 3, bei der Frauenmilch 0,04 : 0,067 oder 1 : 2.

Es ist also klar, dass der relative Gehalt der Kuhmilch an Ionen kleiner ist als in der Frauenmilch, es sind somit von den Salzen der Kuhmilch, zum Unterschiede von denen der Frauenmilch, mehr Molekeln nicht dissociirt. — Noch ein anderer Punkt verdient besondere Beachtung. Für Kuhmilch findet man die aus der Analyse berechnete Molenzahl nicht im Widerspruch mit der wirklich vorhandenen aus der Gefrierpunktserniedrigung sich ergebenden Zahl der Molen. Selbst wenn wir die Salze der Aschenanalyse völlig dissociirt annehmen — was in Wirklichkeit nicht zutrifft — wir also mit einer zu grossen Zahl, nämlich 0,067 Molen Ionen rechnen und dazu noch 0,002 Molen Citronensäure, sowie 0,1859 Molen Lactoseanhydrit addiren, erhalten wir mit der Summe $0{,}067 + 0{,}002 + 0{,}1859 = 0{,}2549$ Molen doch nicht die Gesammtzahl Molen, welche sich zu 0,318 aus der Gefrierpunktserniedrigung ergiebt. Die $0{,}318 - 0{,}2549 = 0{,}0649$ Molen unbekannter Art, welche, falls sie überhaupt in der Kuhmilch, doch nicht mit so grosser Zahl auftreten, weisen also auf einen Unterschied zwischen den beiden Milcharten hin. Alles was sich bis jetzt über diese Molekeln aussagen lässt, ist, dass sie organischer Natur

und osmotisch wirksam sind. Sie müssen also ein relativ niedriges Molekulargewicht haben. Vielleicht gehören sie dem Opalisin und dem Milchnucleon an.

Mit der physikalisch-chemischen Untersuchung von Milch beschäftigten sich ausser Koeppe noch: Jordis, E. Beckmann, J. Winter, sowie Bordat und Génin, deren Arbeiten das Literaturverzeichniss aufweist.

Es erübrigt noch Einiges über die Verwendung der Milch als Nahrungsmittel im Allgemeinen und für Säuglinge insbesondere vom hygienischen Gesichtspunkt aus zu sagen.

Jede auf den Markt gebrachte Milch muss von gesundem, zweckmässig gehaltenem Vieh genommen werden, unvermischt, reinlich und spontan möglichst wenig verändert sein. Dass es im Interesse der Bauern und Landwirthe liegt, gesundes Vieh zu besitzen, bedarf kaum der Erwähnung. Bedingungen für den guten Gesundheitszustand des Viehes und die Unschädlichkeit der Milch sind: rationelle Fütterung, Sauberkeit und ausreichende Lüftung der Stallungen, Reinlichkeit des Futters und der Tränkgeräthe, reinliche Haltung des Körpers der Thiere, insbesondere des Euters, der zur Aufnahme der Milch dienenden Gefässe, sowie der Hände und Kleider des Warte- und Melkpersonals. Verunreinigungen der Milch mit Kuhkoth, der am Euter festtrocknete, gehören nicht zu den Seltenheiten. Gesetzt, die Milch käme nun wirklich tadellos zum Versandt, so wird sie doch auf dem Transport und nicht selten auch durch die Hand der Händler derartig verunglimpft, dass sie an Sauberkeit manches zu wünschen übrig lässt. Dies gilt namentlich von der sogenannten Strassenmilch. Wenn der Inhalt der auf dem Hundewagen festgeschnallten Blechkannen des Verkäufers zur Neige geht, so führt er, um mit dem Schöpfmaass zur Milch zu gelangen, seine Hand, die eben noch das kothbedeckte Geschirr des Hundes ordnete, ja sogar den ganzen, mit schmutzigem Kittel bedeckten Arm tief in die Kanne ein. In Hamburg sah ich, wie ein Milchhändler mit dem Wasser, von welchem sein Pferd getrunken hatte, die Milch taufte. Das sind recht beklagenswerthe Zustände, gegen welche die Markt- und Strassenpolizei vielfach machtlos ist.

Wie anders nimmt sich dagegen der Milchversandt in Gegenden aus, die hygienisch weit unter europäischen, bezw. deutschen Begriffen stehen! In Mexico, einer Stadt von über 300000 Einwohner, mit höchst mangelhaften hygienischen Verhältnissen, beispielsweise mit antiker, offener, von Fröschen und anderem Gethier bevölkerter Wasserleitung, ist die Milchzufuhr zu dem Konsumenten eine ideale zu nennen. Hier werden morgens die Kühe durch die Strassen getrieben, und die Milch wird vor den Häusern den Leuten in die, von ihnen mitgebrachten Gefässe direkt hineingemolken! Aehnlichen Verhältnissen begegnet man in spanischen Städten, beispielsweise in Barcelona.

Aus dem Mitgetheilten ergiebt sich, dass leicht allerlei grobe Verunreinigungen und gesundheitsschädliche Stoffe in die Milch hineingelangen. Fr. Renk (Münchener med. Wochenschrift 1891, No. 35, p. 616) und L. Schulz (Archiv für Hygiene 1892, Bd. 14, p. 263) fanden in Berlin bis 50, in Halle und München bis 72 mg grobe Unreinigkeiten in 1 Liter Milch.

Die Schmutzkontrolle geschieht am schnellsten mit Hülfe des A. Stutzer'schen Apparates. Die zu untersuchende Milch befindet sich in einer mit ihrem Kopfe nach abwärts gerichteten Literflasche. Der Kopf ist durch ein Kautschukrohr mit einer einseitig geschlossenen Glasröhre verbunden, in welcher sich der Schmutz absetzt. Nach Verlauf von einer Stunde wird das Kautschukrohr durch einen Quetschhahn geschlossen. Der Inhalt der Röhre wird durch Asbest filtrirt, der Filterrückstand gewaschen, getrocknet und gewogen. Mit 5 bis 10 mg Schmutz ist die Milch kaum zu beanstanden.

Beseitigung von Stallschmutz geschieht häufig schon auf dem Gehöft und in der Molkerei. Die zum Durchseihen der Milch benutzten Kolatorien sollten vor dem Gebrauch ausgekocht werden. Noch bedenklicher als grobe Unreinigkeiten sind die zahlreichen Mikroorganismen, welche in der Milch enthalten sein können.

Frisch gemolkene Milch enthält 10 bis 100 Tausend Pilzkeime in 1 ccm, frisch auf den Markt gebracht enthält sie 1,2 bis 2,3 Millionen und mehr. Nach 6 Stunden fand Knochenstiern (Keimgehalt der Marktmilch, Inaug.-Diss. Dorpat 1887) 10 bis 30 Millionen Mikroben; 6 Millionen erklärte er für die erlaubte obere Grenze (zu vergl. auch: Bd. I, p. 355).

Häufig sind pathogene Mikroorganismen, insbesondere die Erreger des Typhus, der Diphtherie, der Tuberkulose, des Scharlachs etc., in der Milch enthalten.

Es sollte daher alle Milch vor dem Gebrauche gekocht werden.

Für das Abkochen sind allerhand besondere Töpfe (Milchkocher) aus Thon oder emaillirtem Blech (Wwe. Baumann in Amberg) empfohlen worden, um das Anbrennen und Ueberkochen der Milch zu vermeiden. Die Glasur dieser Geschirre muss bleifrei sein.

Neuerdings bringt die Milchanstalt von Dieboldt und Gronau in Strassburg i. Els. eine Milch auf den Markt, welche krankheitskeimfrei sein soll und deswegen im Haushalte vor dem Genuss nicht mehr abgekocht zu werden braucht. Nach J. Forster (Hygienische Rundschau 1893, p. 669) werden die Erreger derjenigen Krankheiten, die erfahrungsgemäss durch den Genuss roher Milch leicht erzeugt werden, durch langsames Erwärmen (Pasteurisiren) der Milch bis auf 65° C. abgetödtet. Die zu behandelnde Milch wird durch Holzwolle filtrirt und dann in Flaschen gefüllt, die mit dem allbekannten Patentgummiverschluss versehen werden. Die gefüllten und verschlossenen Flaschen werden in kaltes Wasser gestellt, welches dann allmählich bis auf die genannte Temperatur erwärmt wird. Bei diesem Verfahren bleibt

der ursprüngliche Geschmack der Milch erhalten, während er durch Kochen verändert wird.

Der Kuhmilch, welche dem Säuglinge als Ersatz für Muttermilch dienen soll, muss in Bezug auf Herkunft, Sauberkeit und Zubereitung, vor dem Genuss ganz besondere Anfmerksamkeit zugewandt werden. Künstliche Säuglingsernährung muss so beschaffen sein, dass sie bei den empfindlichsten und selbst kranken Verdauungsorganen verwendbar ist. Es kommt bei der künstlichen Ernährung nicht darauf an, dass einzelne Kinder dabei vorzüglich gedeihen, sondern vielmehr darauf, dass gefährdete Säuglinge dabei nicht erkranken und erkrankte wieder gesunden. — Allgemein wird zugestanden, dass eine Mischmilch (sogen. Kinder- oder Säuglingsmilch) von vielen unter Trockenfutter stehenden Kühen in möglichst frischem Zustande am geeignetsten als Ersatz für Muttermilch zur Säuglingsernährung sei.

Behufs Unschädlichmachung von Mikroorganismen muss für Kindermilch in der Regel an Stelle des Pasteurisirens die Sterilisation bei Siedetemperatur treten. Diese Sterilisation geschieht für den Hausgebrauch am häufigsten und bequemsten im Soxhletapparat.

Derselbe besteht aus einem Blechkessel mit Deckelverschluss, einem Einsatz, der zur Aufnahme von 10, am Rande des Halses abgeschliffenen Flaschen dient, aus einer Anzahl Gummiplatten und Metallhülsen, sowie aus einem Messgefässe. Alle Theile, insbesondere das Messgefäss, die Flaschen und Gummischeiben müssen stets sorgfältig und gewissenhaft gereinigt werden. Die Saugstopfen des Säuglings sollten stets mit gekochtem Wasser abgespült und darin aufbewahrt werden. Ebenso ist das Läppchen (ein Stück einer Mullbinde) zu behandeln, mit welchem dem Kinde unter Vermittelung des vorher gereinigten Fingers das Mündchen ausgewischt wird. Säuger und Mundläppchen sind mehrmals am Tage auszukochen. Die mit allerhand Zusätzen versehene Milch wird in die Flaschen gefüllt, wobei darauf zu achten ist, dass diese nie ganz voll sein dürfen. Zur Ausführung der Milchsterilisation bringt man die mit Gummischeibe und Hülse bedeckten, die Milch enthaltenden Flaschen mittels des Einsatzes in den Kochtopf, beschickt denselben mit so viel kaltem Wasser, dass dieses etwa in der Höhe des Milchniveaus steht, schliesst den Deckel und erhitzt das Wasser zum Sieden. Sobald Wasserdampf am Rande des Deckels hervortritt unterhält man das Sieden noch 15 bis 20 Minuten lang. Dann wird der Deckel vom Kochtopf abgehoben und der Einsatz mit den Flaschen herausgenommen. Unter der Wirkung des Luftdruckes (zu vergl. Bd. I, p. 606) werden die Gummischeiben, falls der Flaschenrand gut abgeschliffen ist, luftdicht angepresst, wobei sie sich nach innen wölben. Die Flaschen werden kühl aufbewahrt und vor dem Gebrauch auf Trinkwärme gebracht. Eine Flasche, die „nicht gezogen hat", muss unbenutzt bleiben. Stutzer hat den Apparat dahin abgeändert, dass die Flaschen während des Kochens nur von Dampf umspült werden, wodurch sie äusserlich sauberer bleiben, und dass statt der Gummischeiben und Blechhülsen Kautschukkappen mit Ventil verwendet werden, welches sich durch den Luftdruck schliesst.

Die bei künstlich ernährten Säuglingen vorkommenden Krankheiten der Verdauungsorgane sind aber nicht immer bakterieller Herkunft, sondern können auch durch chemische Gifte verursacht werden. Die chemische Vergiftung beruht auf dem Gehalt der Milch an Stoffen, welche aus dem Futter stammen. Die Futtergifte (Alkaloide, Glycoside, Amide etc.) werden zwar von den Herbivoren vertragen, rufen aber beim Säuglinge, mit der Milch in dessen Körper gelangt, das unter dem Namen Cholera nostras, Gastroenteritis acuta, Brechdurchfall bekannte Symptomenbild hervor, dem sich häufig noch allerhand, für bestimmte Gifte charakteristische Erscheinungen beigesellen. Da eine Entfernung, beziehungsweise Vernichtung der chemischen Gifte aus der Milch sich durch Sterilisation nicht erreichen lässt, so muss man sie aus dem Futter des Milchviehes fernhalten. Sonnenberger schlägt vor, falls es sich um die Erzeugung von Kindermilch handelt, für das Vieh bestimmte Fütterungsnormen aufzustellen, die für verschiedene Gegenden verschieden sein können. Vom Standpunkte des Hygienikers ist zu verlangen, dass der Vertrieb der Handelsfutterstoffe einer behördlichen Kontrolle untersteht, und dass die polizeilichen Vorschriften für den Milchverkauf besondere Zusätze über den Verkauf von Kindermilch enthalten.

Da Kuhmilch einen grösseren Kaseingehalt als Frauenmilch besitzt, so sucht man die erstere in dieser Hinsicht durch Verdünnung mit Wasser der letzteren gleich zu machen. Die Verdünnung hat aber nichts mit der Verdaulichkeit des Kaseins zu thun, dasselbe wird dadurch nicht etwa leichter verdaulich. Wenn man nun bedenkt, dass Wasser, dessen osmotischer Druck den Werth Null kaum übersteigt, einer Milch zugesetzt, deren osmotischen Druck verringert, so kann es kaum zweifelhaft sein, dass bei diesem Verfahren eine Säuglingsnahrung zur Verwendung gelangt, welche, im Vergleich zu der mit höherem osmotischen Druck ausgerüsteten Muttermilch, den natürlichen Bedingungen nicht entspricht. Deswegen wählt man auch nicht Wasser allein zur Verdünnung, sondern eine Lösung von Zucker, woran Kuhmilch ärmer als Frauenmilch ist. Auf diese Weise ist die gewünschte Verdünnung zu erreichen, ohne dass der osmotische Druck beeinträchtigt wird. Dass man vor jeder anderen Zuckerart dem Milchzucker den Vorzug giebt, erscheint als das Natürlichste, überdies macht sich derselbe durch Milchsäurebildung bei der Eiweissverdauung und Darmantisepsis nützlich. Auf je 100 g Zusatzflüssigkeit bei der Milchverdünnung werden entsprechend den 5 bis 6 Prozent Zucker, welche die natürliche Milch enthält, 5 bis 6 g (1 gehäufter Kaffeelöffel) Zucker zugesetzt.

Nimmt man zum Vermischen der Milch statt Wasser, schleimige Flüssigkeiten, (Gersten-, Hafer-, Reis- etc. -Schleim), welche als Milchzusätze nach dem Papyrus Ebers bereits den alten Aegyptern bekannt waren, so kann etwas weniger Zucker gegeben werden, da die genannten Schleimstoffe circa 1 % Kohlenhydrate enthalten.

Uebrigens warnt Biedert (im Litvz. 1. Arbeit, p. 160) vor zu grossen Zuckermengen, — Heubner verwendet eine 11,5 % Zuckerlösung — da sie leicht zu mangelhafter Resorption und zu Diarrhöen führen können.

Von einem zu langen Sterilisiren (45 Min.) der Säuglingsnahrung, wie es häufig noch geschieht, ist abzurathen. Eiweisskörper werden dadurch verändert, der Zucker wird karamelisirt und die Milch nimmt leicht einen bitteren Geschmack an. Ja man hat sogar gewisse Erkrankungen der Säuglinge (Barlow'sche Krankheit) auf Rechnung einer zu langen Sterilisation gesetzt. Koeppe ist dagegen geneigt hierfür die monatelange, absolut gleichmässige Ernährung mit Dauermilch verantwortlich zu machen. Es haben sich nämlich, um die zeitraubende, umständliche und oft nicht gewissenhaft ausgeführte Sterilisation im Hause in Wegfall zu bringen, Sterilisirungsanstalten mit Grossbetrieb zur Herstellung von Kindermilch (Dauermilch) aufgethan. Zu ihnen gehören, beispielsweise die Berneralpen Milchgesellschaft in Stalden (Emmenthal) und die Molkerei Utzendorf von F. Streckeisen. Auf das Pro und Contra derartiger Kindermilch kann hier nicht eingegangen werden.

Ueber die zahlreichen Milchpräparate für Säuglingsernährung, welche zur Zeit in den Handel kommen, und von denen das Rahmgemenge Biedert's wohl das älteste ist, vergleiche man Biedert's Buch über Kinderernährung p. 190 ff.

Dauermilch und Nährpräparate sind ein trauriges Zeichen unserer Zeit. Wir sehen bei den Thieren, dass der Akt des Säugens tief in der Natur begründet ist. Darnach müsste man schliessen, dass auch jedes menschliche Weib ihr Kind zu stillen habe, so lange noch Milch in ihrer Brust fliesst. Dieser Schluss aber würde nur dann richtig sein, wenn man stets eine ungeschädigte Natur beim Menschen voraussetzen könnte, das aber kann man nicht. Kultur und Mode, unvernünftige Lebensweise, verkehrte Sitten und Gebräuche arbeiten der Natur entgegen.

Für den menschlichen Säugling ist die Muttermilch zweifelsohne der natürlichste Ernährungsstoff, aber er muss gut, oder, besser gesagt, der mütterliche Gesammtorganismus muss ein normaler sein. Das ist häufig nicht der Fall, auch dann nicht, wenn die chemische Analyse in Bezug auf die ernährenden Bestandtheile der Milch keinen Mangel derselben erkennen lässt.

Wie darf man erwarten, dass eine bleichsüchtige, nervöse Mutter eine normale Zellen- und Gewebeleistungsfähigkeit besitzt? Das Stillen stellt nicht nur hohe Anforderungen an die Zellen der Milchdrüse, sondern auch an den gesammten Organismus. Schwächezustände der Mutter, insbesondere eine leichte Ermüdbarkeit und Reizbarkeit des Nervensystems und eine damit zusammenhängende mangelhafte Blutmischung haben eine schlechte Milch — wenn überhaupt welche vorhanden ist — im Gefolge und sind wenig dazu geeignet, vortheilhaft auf den Säugling einzuwirken, um so weniger, wenn derselbe bereits mit einer geringen Widerstandsfähigkeit seiner Gewebe zur Welt gekommen ist. In solchen Fällen

darf man sich nicht wundern, wenn der Säugling an der Mutterbrust nicht gedeiht, selbst wenn sie ihm genügende Stoffmenge gewährt. Wo liegt die Schuld für dieses Versagen der Natur? Für die Unfähigkeit zum Stillen, beziehungsweise für die unzureichende Milchbeschaffenheit ist zwar die Mutter verantwortlich, die Gewebeschwäche des Säuglings kann jedoch auch vom Vater stammen. Der eigentliche Grund für solche Erscheinungen liegt hauptsächlich in unzweckmässigen, das Nervenleben schädigenden, sozialen und familiären Verhältnissen.

Die oberen Zehntausend kranken an verkehrten Schulsystemen, welche dem Geiste und Körper der männlichen und weiblichen Jugend nicht genügend Erholung bei heiterem Spiel in Feld und Wald gewähren, sie kranken an immer üppiger werdenden Genüssen des modernen Lebens, insbesondere der Grossstädte mit ihren aufreibenden Vergnügungen aller Art, bei denen die Jugend nicht fehlt. Die arbeitenden Klassen kämpfen in mühevollem Erwerb mit Noth und Sorgen und leiden unter deren Folgen. Das sind die Schäden, welche das Nervenleben untergraben, welche vermindernd auf alle Lebensfunktionen, insbesondere auf die Energie des Keimplasmas, auf die Zeugung und Lactation einwirken und von Geschlecht zu Geschlecht eine zunehmende Schwäche des Organismus bedingen.

Literaturnachweis, soweit nicht bereits im Texte genauer angegeben:

F. Anderegg: Allgemeine Geschichte der Milchwirthschaft, Zürich, Orell Füssli 1894.

E. Beckmann: Forschungsgebiete über Lebensmittel. Ueber die Anwendung neuerer physikalischer Methoden zur Beurtheilung von Milch, Wein und Bier, 1895. (Die Tragweite der physikalisch-chemischen Methoden wird besonders betont.)

Fr. Biedert: Die Kinderernährung im Säuglingsalter etc. 3. Aufl. (4. Aufl. in Vorbereitung), Stuttgart, Enke 1897. (Das Buch ist aus der Praxis herausgeschrieben und zur Zeit das Vollkommenste, was auf diesem Gebiete geliefert worden ist. Ein chronologisches, gut durchgearbeitetes Literaturverzeichniss erhöht noch den Werth des Buches.)

Derselbe: Ueber einige Probleme der Milchwirthschaft und Milchverwendung. Vortrag, gehalten auf der Naturforscherversammlung in Lübeck 1895.

Derselbe: Die Versuchsanstalt für Ernährung, eine wissenschaftliche, staatliche und humanitäre Nothwendigkeit. Deutsche Praxis 1899, No. 20. u. 21.

Bordas et Génin: Sur le point de congélation du lait de vache. Compt. rend. 1895, T. 121, p. 696. (Die Verfasser konstatiren Verschiedenheiten in der Gefrierpunktserniedrigung.)

Camerer: Die chemische Zusammensetzung der Frauenmilch mit Bemerkungen über die künstliche Ernährung der Säuglinge. Medizin. Correspondenzblatt d. Würtemb. ärztl. Landesv. 1896, Bd. 66, No. 51, p. 401.

Camerer und Söldner: Analyse der Frauenmilch, Kuhmilch und Stutenmilch. Zeitschrift f. Biologie 1896, Bd. 33, p. 535.

Dieselben: Die Bestandtheile der Frauenmilch und Kuhmilch. Zeitschrift für Biologie 1898, Bd. 36, p. 277.

Alfr. R. Carter und H. Droop Richmond: Some observations on the composition of human milk. Brit. medic. Journal 1898 Jan., p. 199.

Gust. Dollfuss: Die Bedeutung der Milch für die Ernährung der Kinder, Mülhausen (Els.) 1897. (Wenn diese in populärer Form knapp und klar geschriebene Broschüre, die einen erfahrenen, theoretisch und praktisch gebildeten Landwirth und Besitzer der bekannten Farm Riedisheim (Oberelsass) zum Verf. hat, in erster Linie wohl den verdienstvollen Zweck verfolgt, aus eigener Er-

fahrung dem **Publikum** physiologische und hygienische Winke in Bezug auf Herkunft, Behandlung und Verwendung der Milch zu ertheilen, so findet doch auch der Arzt und Chemiker in dem Schriftchen einige Belehrung).

Wilh. Fleischmann: Lehrbuch der Milchwirthschaft. Bremen, Heinsius 1893.

O. Heubner: Säuglingsernährung und Säuglingsspitäler. Berlin, Hirschwald 1897.

Jordis: Ueber Milchanalyse. Inaug.-Diss., Erlangen 1894. (Versuch einer Molekulargewichtsbestimmung der Milchfette nach der Siede- und Gefriermethode; Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung und elektrischen Leitfähigkeit der Milch geben Aufschlüsse über die Beschaffenheit derselben. Abnahme der Leitfähigkeit ist der Verdünnung nicht proportional.)

W. Kirchner: Handbuch der Milchwirthschaft. 4. Aufl., Berlin, Parey 1898.

B. Martiny: Die Milch, ihr Wesen und ihre Verwerthung. Danzig, Kafemann 1871/72, 2 Bände.

Sonnenberger: Ueber eine bisher nicht genügend beachtete Ursache hoher Säuglingssterblichkeit (Schlusssätze). Sonderabdruck aus den Verhandlungen der XVI. Versammlung der Gesellschaft für Kinderheilkunde, hersg. von E. Pfeiffer, p. 325.

Derselbe: Ueber Kindermilch, daselbst p. 329.

Karl Storch: Beiträge zur Kenntniss der Eiweisskörper der Kuhmilch. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl. 1897, Bd. 106, Abth. 3, p. 119.

Derselbe: Gleicher Titel, 2. Mittheilung ebenda 1899, Bd. 108, Abth. 3, p. 325.

J. Winter: Températures de congélation des liquides de l'organisme. Application à l'analyse du lait. Bull. de la Soc. de chim. de Paris 1894 (3), T. 13, Nr. 24, p. 1101 ff. (Milch verschiedenster Dichte und chemischer Zusammensetzung von Thieren und Menschen hat denselben Gefrierpunkt. Aus der Gefrierpunktsdepression lässt sich die Grösse eines Wasserzusatzes feststellen. Sterilisation der Milch verändert ihren Gefrierpunkt nicht).

Derselbe: Du point de congélation du lait. Compt. rend. 1896, T. 123, p. 1298 u. 1897, T. 124, p. 777. (Fünfzig Milchproben von verschiedenstem spez. Gewicht zeigten dieselbe Gefrierpunktserniedrigung, es kommen höchstens Unterschiede von 0,01 bis 0,02° vor. Polemik gegen Bordas und Génin).

4. Saccharometer. Von den Aräometern, mit welchen man für reine Zuckerlösungen genaue, für unreine Umsetzungsprodukte des Zuckers und sogenannte „Nichtzucker" enthaltende Lösungen, annäherend richtige Gehaltsbestimmungen ausführen kann, und die wegen ihrer schnellen und bequemen Handhabung, namentlich im Fabrikbetriebe und im Laboratorium ausgedehnte Anwendung finden, ist ein von Balling für die Normaltemperatur von + 14° R. = 17,5° C. konstruirtes Instrument (Fig. 272) das zweckmässigste. Die Grade der Skala zeigen den Zuckergehalt einer Flüssigkeit direkt in Gewichtsprozenten an.

Karl Joseph Napoleon Balling, geb. 21. April 1805 zu Gabrielshütte (Rothenhaus) in Böhmen, Prof. der technischen Chem. am polytechn. Landes-Institut in Prag, gest. 17. März 1868 in Prag

Um die Skala herzustellen bereitet man sich verschiedene Zuckerlösungen von + 14° R.

Zucker		destill. Wasser		Zuckerlösung		Zuckergehalt
5 g	gelöst in	95 g	geben	100 g	von	5 %.
10 g	„ „	90 g	„	100 g	„	10 %.
15 g	„ „	85 g	„	100 g	„	15 %.
20 g	„ „	80 g	„	100 g	„	20 %.
25 g	„ „	75 g	„	100 g	„	25 %.
30 g	„ „	70 g	„	100 g	„	30 %.

und so fort.

Man beschwert das Aräometer in der Art, dass es in destillirtem Wasser von + 14 ° R. bis in die Nähe des oberen Halsendes einsinkt und bezeichnet diesen Punkt mit 0. Darauf senkt man das Instrument in eine 5prozentige Zuckerlösung und schreibt an den Schnittpunkt des Halses und des Flüssigkeitsniveaus die Zahl 5. Den zehnten Grad erhält man durch Eintauchen in eine 10prozentige Zuckerlösung, und so fort.

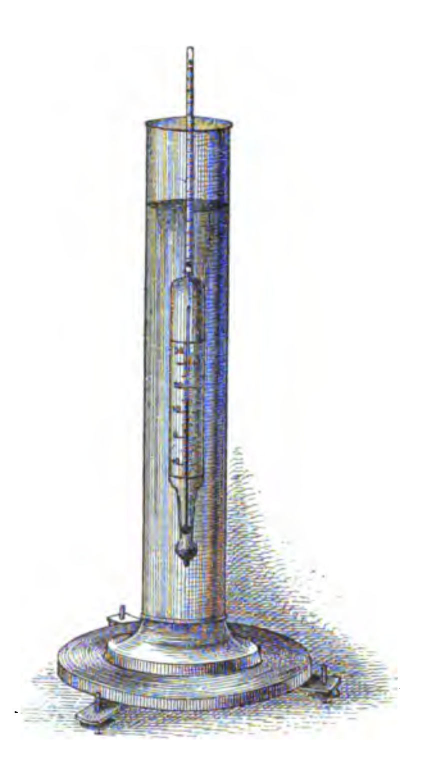


Fig. 272. Saccharometer mit Thermometer nach Balling.

Die Entfernung zwischen den auf diese Weise erhaltenen Graden theilt man in fünf gleiche Theile, und jeder dieser kann noch in Zehntel getheilt werden. Die Skala enthält gewöhnlich 70 Grade, da eine bei 14° R. gesättigte Lösung etwa 67 Prozent Zucker enthält.

Auf p. 735 des I. Bd. wurde angegeben, dass Wasser neun Theile des gewöhnlichen Zuckers zu lösen vermöge. Diese Angabe ist dahin zu berichtigen, dass Wasser nur zwei Theile Zucker aufzunehmen vermag (zu vergl. E. O. von Lippmann: Die Chemie der Zuckerarten, 2. Aufl., Braunschweig, Vieweg 1895, p. 619.)

Um bei der Ablesung von Zehntelgraden die Genauigkeit zu vergrössern, wird die Skala des Saccharometers häufig auf mehrere Spindeln vertheilt. Weil das Saccharometer für die Temperatur von 14 ° R. angefertigt wird, so liefert es auch nur bei dieser richtige Angaben. Bei höherer Temperatur zeigt es weniger, bei niedrigerer Temperatur mehr Grade. Es muss daher in Fällen, in welchen die

Normaltemperatur von + 14° R. nicht eingehalten wird, eine Korrektur eintreten, welche für die Intervalle zwischen + 4 u. 24° nur Zehntelgrade ausmacht und aus folgender Tabelle entnommen wird.

Korrektionstabelle

zur Reduktion der von dem Saccharometer angezeigten Grade auf die Normaltemperatur von 14° R. nach Balling.

	Wenn die Flüssigkeit kälter als 14° R., so müssen von den Saccharometergraden in Abzug gebracht werden Prozente	Wenn die Flüssigkeit wärmer als 14° R., so müssen zu den Saccharometergraden in Zuschlag gebracht werden Prozente
Bei 4° R.	— 0,40	—
„ 5° „	0,37	—
„ 6° „	0,33	—
„ 7° „	0,29	—
„ 8° „	0,25	—
„ 9° „	0,21	—
„ 10° „	0,17	—
„ 11° „	0,13	—
„ 12° „	0,09	—
„ 13° „	0,04	—
„ 14° „	0	0
„ 15° „	—	0,04
„ 16° „	—	0,09
„ 17° „	—	0,14
„ 18° „	—	0,20
„ 19° „	—	0,26
„ 20° „	—	0,32
„ 21° „	—	0,38
„ 22° „	—	0,45
„ 23° „	—	0,52
„ 24° „	—	0,60

Karl Stammer, geb. 29. Feb. 1832 in Luxemburg, Direktor d. Zuckerfabrik in Kaberwitz bei Breslau, zuletzt in Braunschweig, gest. 20. Juli 1893 in Düsseldorf.

Temperaturkorrektionen für Celsiusgrade wurden auf Veranlassung von K. Stammer von F. Sachs berechnet. Seine Tabelle wurde zuerst im Jahre 1880 in der russischen Zeitschrift: Sapiski Organ der Kief. Sektion des techn. Vereines von Russland veröffentlicht. Man vergl. auch Sucrerie Belge, April 1883, p. 298. Für besondere Zwecke giebt es Spindeln, welche die Temperaturkorrektion direkt vollziehen (zu vergl. das im Literaturverzeichniss angegebene Werk von Frühling und Schulz, p. 168). Geprüfte und amtlich geaichte Zuckerspindeln nebst Korrektionstabellen liefert die physikalisch-technische Reichsanstalt in Charlottenburg.

Zur Vergleichung der spezifischen Gewichte der Zuckerlösungen mit ihrem Zuckergehalte bei + 14° R. = 17,5° C. diene folgende Tabelle; in der dritten Spalte stehen Werthe für + 15° C. aus Scheibler's im Literaturverzeichniss citirten Buche.

Zucker in 100 Gew.-Thlen. der Lösung	Spez. Gew. der Lösung nach			Zucker in 100 Gew.-Thlen. der Lösung	Spez. Gew. der Lösung nach		
	Balling	Gerlach	Scheibler bei 15° C.		Balling	Gerlach	Scheibler bis 15° C.
0	1,0000	1,000000		38	1,1692	1,169121	
1	1,0040	1,003880		39	1,1743	1,174222	
2	1,0080	1,007788		40	1,1794	1,179358	1,17985
3	1,0120	1,011785		41	1,1846	1,184531	
4	1,0160	1,015690		42	1,1898	1,189740	
5	1,0200	1,019686	1,01978	43	1,1951	1,194986	
6	1,0240	1,023710		44	1,2004	1,200269	
7	1,0281	1,027765		45	1,2057	1,205589	1,20611
8	1,0322	1,031848		46	1,2111	1,210945	
9	1,0363	1,035961		47	1,2156	1,216339	
10	1,0404	1,040104	1,04027	48	1,2219	1,221771	
11	1,0446	1,044278		49	1,2274	1,227241	
12	1,0488	1,048482		50	1,2329	1,232748	1,23330
13	1,0530	1,052716		51	1,2385	1,238293	
14	1,0572	1,056982		52	1,2441	1,243877	
15	1,0614	1,061278	1,06152	53	1,2497	1,249500	
16	1,0657	1,065606		54	1,2553	1,255161	
17	1,0700	1,069965		55	1,2610	1,260861	1,26144
18	1,0744	1,074356		56	1,2667	1,266600	
19	1,0788	1,078779		57	1,2725	1,272379	
20	1,0832	1,083234	1,08354	58	1,2783	1,278197	
21	1,0877	1,087721		59	1,2841	1,284054	
22	1,0922	1,092240		60	1,2900	1,289952	1,29056
23	1,0967	1,096792		61	1,2959	1,295890	
24	1,1013	1,101377		62	1,3019	1,301868	
25	1,1059	1,105995	1,10635	63	1,3079	1,307887	
26	1,1106	1,110646		64	1,3139	1,313946	
27	1,1153	1,115330		65	1,3199	1,320046	1,32067
28	1,1200	1,120048		66	1,3260	1,326188	
29	1,1247	1,124800		67	1,3321	1,332370	
30	1,1295	1,129586	1,12999	68	1,3383	1,338594	
31	1,1343	1,134406		69	1,3445	1,344860	
32	1,1391	1,139261		70	1,3507	1 351168	1,35182
33	1,1440	1,144150		71	1,3570	1,357518	
34	1,1490	1,149073		72	1,3663	1,363910	
35	1,1540	1,154032	1,15448	73	1,3696	1,370345	
36	1,1590	1,159026		74	1,3760	1,376822	
37	1,1641	1,164056		75	1,3824	1,383342	1,38401

Balling beschrieb die Konstruktion seines Saccharometers in seinem Buch: Die Gährungschemie. 3. Aufl., 1865, Prag, Tempsky, Bd. I, p. 18 ff und in: Anleitung zum Gebrauch des Saccharometers, daselbst 1855. Weiteres über das Saccharometer und die Saccharometrie findet man bei:

A. F. W. Brix: Ueber die Bestimmung des spezifischen Gewichts verschiedener Zuckerlösungen nach Maassgabe ihres Gehaltes an reinem Krystallzucker. Zeitschrift des Vereines für Zuckerrübenindustrie im Zollverein, 1854. Bd. IV, p. 304 ff.

Frühling und Schulz: Anleitung zur Untersuchung der für die Zuckerindustrie in Betracht kommenden Rohmaterialien, Produkte, Nebenprodukte und Hülfssubstanzen. 5. Aufl., Braunschweig, Vieweg 1897.

Th. Gerlach: Ueber die Konstruktion von Saccharometern nebst dazu gehörigen Prozentthermometern. Zeitschrift des Vereins für Zuckerrübenindustrie im Zollverein 1864, Bd. XIV, p. 354 ff.

Derselbe: Ueber Saccharometer mit Prozentthermometer; ibid. Bd. XV, 1865, p. 23 ff.

Ed. Mategczek: Ein Beitrag zur Saccharometrie; ibid. Bd. XV, 1865, p. 583 ff.

C. Scheibler: Die Gehaltsermittelung der Zuckerlösungen durch Bestimmung des spezifischen Gewichtes derselben. Berlin, Friedländer und Sohn 1891.

Derselbe: Versuche zur Prüfung des Gerlach'schen Saccharometers. Zeitschrift des Vereines für Zuckerrübenindustrie im Zollverein 1864, Bd. XIV, p. 775 ff.

K. Stammer: Ueber die Gerlach'schen Aräometer zur Bestimmung des Gehaltes von Zuckerlösungen bei verschiedenen Temperaturen; ibid. 1864, Bd. XIV, p. 703 ff.

Derselbe: Saccharometrie. Dingler's polyt. Journal 1860, Bd. 156, p. 40.

L. Walkhoff: Versuche über die Werthbestimmung resp. praktische Abschätzung der Runkelrübensäfte nach Balling's Prozentmesser. Zeitschrift des Vereins für Zuckerrübenindustrie im Zollverein 1854, Bd. IV, p. 105 ff.

5. Säure- und Laugenwaagen. Besondere Prozentaräometer für Säuren und Laugen sollen den Gehalt an diesen in einer Mischung mit Wasser angeben. Unter Anderen hat Meissner solche Instrumente konstruirt und sie in seinem Buche: Die Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie und Technik. Wien 1816, p. 140 beschrieben. Sie sind immer nur für diejenige Flüssigkeit brauchbar, für welche sie entweder nach Volum- oder Gewichtsprozenten eingerichtet sind.

Paul Traugott Meissner, geb. 23. März 1778 zu Medias in Siebenbürgen, Prof der technischen Chemie am Polytechnikum zu Wien, gest. 9. Juli 1864 in Neuwaldegg bei Wien.

Das Aräometer taucht in der stärksten Säure oder Lauge bis zu dem am unteren Ende der Skala gelegenen Theilstrich 100, in reinem Wasser bis zu dem am oberen Abschnitt befindlichen Nullpunkt ein. Jeder Grad bedeutet also ein Prozent der Normal-Säure oder -Lauge bei bestimmter Temperatur.

Die Herstellung der Skala erfolgt auf rein empirischem Wege durch Einsenken des Aräometers in die Mischungen von verschiedenem Mengenverhältniss. Da bei Anfertigung der Mischungen nicht unerhebliche Kontraktionen eintreten, so ist das spezifische Gewicht grösser, als es durch Rechnung gefunden würde. In den Tabellen auf p. 266 bis 268 ist das spezifische Gewicht derartiger Mischungen und ihr Gehalt an Säure oder Alkali in Gewichtsprozenten angegeben.

Bildung und Eigenschaften der Soolquellen.

6. Soolwaagen, Salzspindel oder Salometer (lat. sal, salis, das Salz). Salz- oder Soolquellen entstehen dadurch, dass unterirdische Gewässer in Berührung mit Steinsalzlagern Chlornatrium auflösen und an mehr oder weniger weit von der Lagerstätte entfernten Orten entweder auf natürlichem Wege aus dem Erdreich hervortreten oder erbohrt und durch Pumpwerke aus den Bohrlöchern zu Tage gefördert werden. Am reichsten an Soolquellen ist die Triasformation. Die Beschaffenheit der Soole ist von ihrem Gehalt an Chlornatrium und fremdartigen Bestandtheilen, sowie von der Temperatur, die meistens höher liegt als die mittlere Jahrestemperatur des Ortes, und von der Tiefe, welcher die Quelle entstammt, abhängig. Wenn die Salzlager von dem Wasser nicht durchdrungen, sondern nur an den oberen Schichten davon bespült werden, so ist der Salzreichthum der Soole gering. Auch kann eine auf natürlichem Wege zu Tage tretende Soole durch süsse Wässer, welche sich ihr auf ihrem Wege beimischen, abgeschwächt werden. Es kann sich daher eine Soole, welche erbohrt wurde, stärker erweisen, als sie bei freiwilligem Austritte gewesen sein würde. Die Konzentration der Soole steigt im Allgemeinen mit ihrer Temperatur, da mit dieser die Löslichkeit des Chlornatriums in Wasser langsam wächst (zu vergl. Bd. I, p. 739). Wenn eine Soole bei verhältnissmässig hoher Temperatur doch nur einen geringen Salzgehalt besitzt, so kann dies daher rühren, dass sie erst auf ihrem Wege durch vulkanisches Erdreich, in Folge der Aufnahme heisser Quellen oder Gase, die hohe Temperatur erhielt. Dass eine Soole salzreicher gefunden wird als eine gewöhnliche Chlornatriumlösung von derselben Temperatur, beruht darauf, dass sich das Steinsalz in der Tiefe unter hohem Druck auflöst.

Salzspindeln zur Untersuchung der Soole.

Die Glasspindeln, welche zur Bestimmung der Prozentigkeit oder Löthigkeit einer Soole dienen, sind verschiedener Art. Die in der Saline Dürrheim (Baden) gebrauchten Spindeln besitzen im Halse eine Skala, die, je nach dem Zwecke der Messungen, innerhalb verschiedener Grenzen getheilt ist, beispielsweise zur Messung von reicher Soole zwischen 25 und 27 Proz. Salzgehalt, zur Messung der Soole zu Bädern (Soolbädern) zwischen 0 und 15 Proz. Salzgehalt anzeigend. Derartige Spindeln erlauben die Ablesung des Salzgehaltes der Soole in Prozenten, d. h. sie geben an, wie viele Gewichtstheile Chlornatrium in 100 Gewichtstheilen Soole enthalten sind, reine Chlornatriumlösung vorausgesetzt, was indessen wohl nie vollständig zutrifft.

In anderen Salinen wird die Soole durch Spindeln gemessen, deren Skala anzeigt, wie viele Gewichtstheile Chlornatrium in 100 Gewichtstheilen Wasser gelöst sind. Selbstverständlich ergeben sich dabei höhere Zahlen. Endlich sind Spindeln gebräuchlich, welche das spezifische Gewicht der Soole messen. Dieses bewegt sich in den Grenzen zwischen 1,000151 und 1,208724 entsprechend einer Prozentigkeit der Soole von 0,02 bis 26,6 bei $+ 4^0$ C., worüber besondere Tabellen Aufschluss geben. Soolen, deren spezifisches Gewicht grösser als das angegebene ist, kommen nicht vor. Die Instrumente,

Schwefelsäure nach Lunge und Isler (Zeitschrift f. angew. Chem. 1890, p. 129) bei 15° C.

Gew.-Proc.	Spez. Gew.	Gew.-Proc.	Spez. Gew.	Gew.-Proc.	Spez. Gew.	Gew.-Proc.	Spez. Gew.	Gew.-Proc.	Spez. Gew.
1,57	1,010	29,84	1,220	53,11	1,430	71,99	1,640	91,25	1,8[illegible]
2,30	1,015	30,48	1,225	53,59	1,435	72,40	1,645	91,50	1,8[illegible]
3,03	1,020	31,11	1,230	54,07	1,440	72,82	1,650	91,70	1,8[illegible]
3,76	1,025	31,70	1,235	54,55	1,445	73,23	1,655	91,90	1,8[illegible]
4,49	1,030	32,28	1,240	55,03	1,450	73,64	1,660	92,10	1,8[illegible]
5,23	1,035	32,86	1,245	55,50	1,455	74,07	1,665	92,30	1,8[illegible]
5,96	1,040	33,43	1,250	55,97	1,460	74,51	1,670	92,52	1,8[illegible]
6,67	1,045	34,00	1,255	56,43	1,465	74,97	1,675	92,75	1,8[illegible]
7,37	1,050	34,57	1,260	56,90	1,470	75,42	1,680	93,05	1,8[illegible]
8,07	1,055	35,14	1,265	57,37	1,475	75,86	1,685	93,43	1,8[illegible]
8,77	1,060	35,71	1,270	57,83	1,480	76,30	1,690	93,80	1,8[illegible]
9,47	1,065	36,29	1,275	58,28	1,485	76,73	1,695	94,20	1,8[illegible]
10,19	1,070	36,87	1,280	58,74	1,490	77,17	1,700	94,60	1,8[illegible]
10,90	1,075	37,45	1,285	59,22	1,495	77,60	1,705	95,00	1,8[illegible]
11,60	1,080	38,03	1,290	59,70	1,500	78,04	1,710	95,60	1,84[illegible]
12,30	1,085	38,61	1,295	60,18	1,505	78,48	1,715	95,95	1,84[illegible]
12,99	1,090	39,19	1,300	60,65	1,510	78,92	1,720	97,00	1,84[illegible]
13,67	1,095	39,77	1,305	61,12	1,515	79,36	1,725	97,70	1,84[illegible]
14,35	1,100	40,35	1,310	61,59	1,520	79,80	1,730	98,20	1,8[illegible]
15,03	1,105	40,93	1,315	62,06	1,525	80,24	1,735	98,70	1,8[illegible]
15,71	1,110	41,50	1,320	62,53	1,530	80,68	1,740	99,20	1,8[illegible]
16,36	1,115	42,08	1,325	63,00	1,535	81,12	1,745	99,45	1,8[illegible]
17,01	1,120	42,66	1,330	63,43	1,540	81,56	1,750	99,70	1,8[illegible]
17,66	1,125	43,20	1,335	63,85	1,545	82,00	1,755	99,95	1,83[illegible]
18,31	1,130	43,74	1,340	64,26	1,550	82,44	1,760		
18,96	1,135	44,28	1,345	64,67	1,555	82,88	1,765		
19,61	1,140	44,82	1,350	65,08	1,560	83,32	1,770		
20,26	1,145	45,32	1,355	65,49	1,565	83,90	1,775		
20,91	1,150	45,88	1,360	65,90	1,570	84,50	1,780		
21,55	1,155	46,41	1,365	66,30	1,575	85,10	1,785		
22,19	1,160	46,94	1,370	66,71	1,580	85,70	1,790		
22,83	1,165	47,47	1,375	67,13	1,585	86,30	1,795		
23,47	1,170	48,00	1,380	67,59	1,590	86,90	1,800		
24,12	1,175	48,53	1,385	68,05	1,595	87,60	1,805		
24,76	1,180	49,06	1,390	68,51	1,600	88,30	1,810		
25,40	1,185	49,59	1,395	68,97	1,605	89,05	1,815		
26,04	1,190	50,11	1,400	69,43	1,610	90,05	1,820		
26,68	1,195	50,63	1,405	69,89	1,615	90,20	1,821		
27,32	1,200	51,15	1,410	70,32	1,620	90,40	1,822		
27,95	1,205	51,66	1,415	70,74	1,625	90,60	1,823		
28,58	1,210	52,15	1,420	71,16	1,630	90,80	1,824		
29,21	1,215	52,63	1,425	71,57	1,635	91,00	1,825		

[Sal]petersäure bei 15° C. nach Kolb-[Ger]lach (Zeitschrift f. analyt. Chem. Jahrg. 8, 1869, p. 292)

Spez. Gew.	%	Spez. Gew.	%	Spez. Gew.
1,006	43	1,270	85	1,478
1,012	44	1,276	86	1,481
1,018	45	1,284	87	1,484
1,024	46	1,290	88	1,488
1,029	47	1,298	89	1,491
1,035	48	1,304	90	1,495
1,040	49	1,312	91	1,499
1,045	50	1,316	92	1,503
1,051	51	1,323	93	1,506
1,057	52	1,329	94	1,509
1,064	53	1,335	95	1,512
1,070	54	1,341	96	1,516
1,077	55	1,346	97	1,520
1,083	56	1,350	98	1,523
1,089	57	1,358	99	1,526
1,095	58	1,363	100	1,530
1,100	59	1,369		
1,106	60	1,374		
1,112	61	1,380		
1,120	62	1,386		
1,126	63	1,390		
1,132	64	1,395		
1,138	65	1,400		
1,145	66	1,405		
1,151	67	1,410		
1,159	68	1,414		
1,166	69	1,419		
1,172	70	1,422		
1,179	71	1,427		
1,185	72	1,430		
1,192	73	1,435		
1,198	74	1,439		
1,204	75	1,442		
1,210	76	1,445		
1,218	77	1,449		
1,225	78	1,452		
1,230	79	1,456		
1,236	80	1,460		
1,244	81	1,463		
1,251	82	1,467		
1,257	83	1,470		
1,264	84	1,474		

Salpetersäure nach Kolb (Compt. rend. 1872, T. 74, p. 787)

%	Spez. Gew.
1,5	1,007
2,9	1,014
4,5	1,022
5,8	1,029
7,3	1,036
8,9	1,044
10,4	1,052
12,0	1,060
13,4	1,067
15,0	1,075
16,5	1,083
18,1	1,091
19,9	1,100
21,5	1,108
23,1	1,116
24,8	1,125
26,6	1,134
28,4	1,143
30,2	1,152
31,2	1,157
32,0	1,161
33,0	1,166
33,9	1,171
34,7	1,175
35,7	1,180
36,8	1,185
37,9	1,190
39,0	1,195
39,8	1,199
41,2	1,205
42,4	1,210

Essigsäure bei 15° C. nach Oudemans: Das spez. Gew. d. Essigsäure u. ihrer Gemische mit Wasser, Bonn 1866.

%	Spez. Gew.	%	Spez. Gew.	%	Spez. Gew.
1	1,0007	43	1,0552	85	1,0739
2	1,0022	44	1,0562	86	1,0736
3	1,0037	45	1,0571	87	1,0731
4	1,0052	46	1,0580	88	1,0726
5	1,0067	47	1,0589	89	1,0720
6	1,0083	48	1,0598	90	1,0713
7	1,0098	49	1,0607	91	1,0705
8	1,0113	50	1,0615	92	1,0696
9	1,0127	51	1,0623	93	1,0686
10	1,0142	52	1,0631	94	1,0674
11	1,0157	53	1,0638	95	1,0660
12	1,0171	54	1,0646	96	1,0644
13	1,0185	55	1,0653	97	1,0625
14	1,0200	56	1,0660	98	1,0604
15	1,0214	57	1,0666	99	1,0580
16	1,0228	58	1,0673		
17	1,0242	59	1,0679		
18	1,0256	60	1,0685		
19	1,0270	61	1,0691		
20	1,0284	62	1,0697		
21	1,0298	63	1,0702		
22	1,0311	64	1,0707		
23	1,0324	65	1,0712		
24	1,0337	66	1,0717		
25	1,0350	67	1,0721		
26	1,0363	68	1,0725		
27	1,0375	69	1,0729		
28	1,0388	70	1,0733		
29	1,0400	71	1,0737		
30	1,0412	72	1,0740		
31	1,0424	73	1,0742		
32	1,0436	74	1,0744		
33	1,0447	75	1,0746		
34	1,0459	76	1,0747		
35	1,0470	77	1,0748		
36	1,0481	78	1,0748		
37	1,0492	79	1,0748		
38	1,0502	80	1,0748		
39	1,0513	81	1,0747		
40	1,0523	82	1,0746		
41	1,0533	83	1,0744		
42	1,0543	84	1,0742		

Ammoniak bei 15° C. (Lunge u. Wiernik: Zeitsch. f. angew. Chemie 1889, p. 182)			
%	Spez. Gew.	%	Spez. Gew.
0,00	1,000	15,63	0,940
0,45	0,998	16,22	0,938
0,91	0,996	16,82	0,936
1,37	0,994	17,42	0,934
1,84	0,992	18,03	0,932
2,31	0,990	18,64	0,930
2,80	0,988	19,25	0,928
3,30	0,986	19,87	0,926
3,80	0,984	20,49	0,924
4,30	0,982	21,12	0,922
4,80	0,980	21,75	0,920
5,30	0,978	22,39	0,918
5,80	0,976	23,03	0,916
6,30	0,974	23,68	0,914
6,80	0,972	24,33	0,912
7,31	0,970	24,99	0,910
7,82	0,968	25,65	0,908
8,33	0,966	26,31	0,906
8,84	0,964	26,98	0,904
9,35	0,962	27,65	0,902
9,91	0,960	28,33	0,900
10,74	0,958	29,01	0,898
11,03	0,956	29,69	0,896
11,60	0,954	30,37	0,894
12,17	0,952	31,05	0,892
12,74	0,950	31,75	0,890
13,31	0,948	32,50	0,888
13,88	0,946	33,25	0,886
14,46	0,944	34,10	0,884
15,04	0,942	34,95	0,882

Ammoniak bei 16° C. Gerlach: Ztsch. f. analyt. Chem. 8. Jahrg. 1869, p. 279.	
%	Spez. Gew.
1	0,9959
2	0,9915
3	0,9873
4	0,9831
5	0,9790
6	0,9749
7	0,9709
8	0,9670
9	0,9631
10	0,9593
11	0,9556
12	0,9520
13	0,9484
14	0,9449
15	0,9414
16	0,9380
17	0,9347
18	0,9314
19	0,9283
20	0,9251
21	0,9221
22	0,9191
23	0,9162
24	0,9133
25	0,9106
26	0,9078
27	0,9052
28	0,9026
29	0,9001
30	0,8976
31	0,8953
32	0,8929
33	0,8907
34	0,8885
35	0,8864
36	0,8844

Kalilauge bei 15° C. nach Gerlach (Zeitsch. f. analyt. Chem. 8. Jahrg. 1869, p. 279)			
%	Spez. Gew.	%	Spez. Gew.
1	1,009	43	1,450
2	1,017	44	1,462
3	1,025	45	1,475
4	1,033	46	1,488
5	1,041	47	1,499
6	1,049	48	1,511
7	1,058	49	1,527
8	1,065	50	1,539
9	1,074	51	1,552
10	1,083	52	1,565
11	1,092	53	1,578
12	1,110	54	1,590
13	1,111	55	1,604
14	1,119	56	1,618
15	1,128	57	1,630
16	1,137	58	1,641
17	1,146	59	1,655
18	1,155	60	1,667
19	1,166	61	1,682
20	1,177	62	1,695
21	1,188	63	1,705
22	1,198	64	1,718
23	1,209	65	1,729
24	1,220	66	1,740
25	1,230	67	1,751
26	1,241	68	1,768
27	1,252	69	1,780
28	1,264	70	1,790
29	1,278		
30	1,288		
31	1,300		
32	1,311		
33	1,324		
34	1,336		
35	1,349		
36	1,361		
37	1,374		
38	1,387		
39	1,400		
40	1,411		
41	1,425		
42	1,438		

Natronlauge bei 15° C. nach Gerlach (Zeitsch. f. analyt. Chem. 8. Jahrg. 1869, p. 279)			
%	Spez. Gew.	%	Spez. Gew.
1	1,012	43	1,468
2	1,023	44	1,478
3	1,035	45	1,488
4	1,046	46	1,499
5	1,059	47	1,508
6	1,070	48	1,519
7	1,081	49	1,529
8	1,092	50	1,540
9	1,103	51	1,550
10	1,115	52	1,560
11	1,126	53	1,570
12	1,137	54	1,580
13	1,148	55	1,591
14	1,159	56	1,601
15	1,170	57	1,611
16	1,181	58	1,622
17	1,192	59	1,633
18	1,202	60	1,643
19	1,213	61	1,654
20	1,225	62	1,664
21	1,236	63	1,674
22	1,247	64	1,684
23	1,258	65	1,695
24	1,269	66	1,705
25	1,279	67	1,715
26	1,290	68	1,726
27	1,300	69	1,737
28	1,310	70	1,748
29	1,321		
30	1,332		
31	1,343		
32	1,351		
33	1,363		
34	1,374		
35	1,384		
36	1,395		
37	1,405		
38	1,415		
39	1,426		
40	1,437		
41	1,447		
42	1,456		

bei denen der Null- oder Wasserpunkt am oberen Ende des Halses liegt, sind gewöhnlich für + 15° C. justirt.

Eine der stärksten Soolen ist die von Rheinfelden bei Basel. Sie hat bei + 12,5° C. das spezifische Gewicht 1,2053. Wenn 100 ccm einer Soole, wie die von Rheinfelden, beim Versieden 31,9 g Chlornatrium liefern, so heisst das nicht, dass die Soole 31,9 % Chlornatrium enthält. Um die Prozentigkeit zu ermitteln, müsste man nicht 100 ccm, sondern 100 g nehmen und damit den Gehalt an Chlornatrium in Grammen bestimmen. Man würde dann finden, dass 100 g Soole 26,46 g Chlornatrium liefern. Es wiegen nämlich 100 ccm Soole bei einem spezifischen Gewicht von 1,2053 120,53 g und liefern 31,9 g Salz. Es liefern also 100 g Soole $\frac{31,9 \cdot 100}{120,53} = 26,46$ g, d. h. die Soole enthält 26,46 Prozent Chlornatrium.

Tabellen über das spezifische Gewicht und die Prozentigkeit von Soolen wurden 1846 von J. C. B. Karsten im 20. Bande des Archivs für Mineralogie, Geognosie und Hüttenkunde veröffentlicht. Diese Tabellen geben die spezifischen Gewichte für eine Zunahme des Prozentgehaltes von 0,1 % an. In den kgl. bayerischen Salinen sind diese Tabellen auf eine Zunahme von 0,02 % für die spezifischen Gewichte bei den Temperaturen 0° bis + 20° C. berechnet worden.

Karl Johann Bernhard Karsten, geb. 26. November 1782 in Bützow Oberhüttenverwalter für Schlesien, seit 1829 Geh. Obergrath im Ministerium des Innern in Berlin, gest. 22. Aug. 1853 in Berlin.

Aus Karsten's Tabellen p. 98 ff. mögen nachstehende Angaben für ganze Prozente bei + 4° C. hier Aufnahme finden.

Proz. Salz	Spez. Gew.	Proz. Salz	Spez. Gew.	Proz. Salz	Spez. Gew.
0	1,000000	9	1,068349	18	1,138504
1	1,007562	10	1,076022	19	1,146489
2	1,015125	11	1,083719	20	1,154520
3	1,022694	12	1,091444	21	1,162601
4	1,030269	13	1,099199	22	1,170734
5	1,037855	14	1,106985	23	1,178921
6	1,045455	15	1,114807	24	1,187165
7	1,053068	16	1,122666	25	1,195469
8	1,060698	17	1,130564	26	1,203835

Für Lösungen von chemisch reinem Chlornatrium bei 15° C. haben Untersuchungen von Gerlach (Zeitschrift f. analytische Chemie, 8. Jahrg. 1869, p. 281) die Ergebnisse geliefert, welche in der Tabelle auf p. 270 niedergelegt sind.

Näheres über Soolen, Soolspindeln und die Bestimmung des Salzgehaltes findet man bei: Fehling, Chem. Untersuchung der Soolen, Stuttgart, Ebner und Seubert 1847; C. J. B. Karsten, Salinenkunde, Berlin, G. Reimer 1847; Bruno Kerl, Grundriss der Salinenkunde, Braunschweig, M. Bruhn 1868, p. 85 ff.; Niedzwiedzki, Salinen- und Salzbergwerkskarte von Deutschland und den angrenzenden Ländern, Gera 1883.

Einige Soolen und Soolbäder im deutschen Sprachgebiete mögen hier genannt werden.

Proz. Kochsalz	Spez. Gew.	Proz. Kochsalz	Spez. Gew.	Proz. Kochsalz	Spez. Gew.
1	1,00725	10	1,07335	19	1,14315
2	1,01450	11	1,08097	20	1,15107
3	1,02174	12	1,08859	21	1,15931
4	1,02899	13	1,09622	22	1,16755
5	1,03624	14	1,10384	23	1,17580
6	1,04366	15	1,11146	24	1,18404
7	1,05108	16	1,11938	25	1,19228
8	1,05851	17	1,12730	· 26	1,20098
9	1,06593	18	1,13523		

1. Warme Soolen.

Königsborn (Station der Soest-Dortmunder Eb.), Temp. 34°, Chlornatrium 7,5 Proc.,
Werne (Station der Köln-Mindener Eb.), Temp. 28°, Chlornatrium 6 Proc.
Oeynhausen (Rehme) in Westfalen (Station der Köln-Berliner und Löhne-Vienenburger Eb.), Temp. 27°, Chlornatrium 2,5 Proc.
Nauheim (Station der Frankfurt-Kasseler Eb.), Grosser Sprudel Temp. 31,6°, Chlornatrium 2,2 Proc., Friedrich-Wilhelm-Sprudel Temp. 35°, Chlornatrium 2,9 Proc.

2. Kalte Soolen.

Dürkheim (Rheinpfalz)	Chlornatrium	2	Proz.
Rothenfelde (23 km südlich von Osnabrück)	„	5,6	„
Harzburg	„	6	„
Oldesloe	„	22,02	„
Reichenhall	„	23,7	„
Frankenhausen	„	24,8	„
Lüneburg	„	25	„
Ischl	„	25	„
Hall (Tirol)	„	26	„
Segeberg	„	26	„
Dürrheim (Baden)	„	26,3	„
Berchtesgaden	„	26,4	„
Rheinfelden	„	26,46	„

Soolquellen und ihre therapeutische Verwendung.

Die Soolquellen werden nicht nur zur Gewinnung des Kochsalzes benutzt, sondern es kommt ihnen auch eine Wirkung auf den Organismus zu. Sie werden deswegen zu Trink- und Badekuren verwendet. Bei den Trinkkuren wird durch das in das Blut gelangende Chlornatrium, beziehungsweise der aufgenommenen Natriumionen die Energie des Stoffwechsels gesteigert. Die Funktion der Schleimhäute, der Athmungs- und Verdauungsorgane wird geregelt und die Schleimabsonderung vermehrt. Chronischer Katarrh der genannten Organe, Scrophulose und mit dieser verbundene Blutarmuth bilden namentlich das Heilgebiet der Kochsalztrinkkuren. Im Bad kommt die Wirkung der Soole auf die Nerven der

Haut und Gefässe in Betracht. Es werden durch das Soolbad Reflexe in inneren Organen ausgelöst und Belebung und Kräftigung der gesammten Nervenleistung und des Kreislaufs erzielt. Schwächezustände, chronische Ekzeme der Haut, Muskel- und chronischer Gelenkrheumatismus, sowie Neurosen, die mit allgemeinen Ernährungsstörungen einhergehen, ferner Exsudate der Pleura und Beckenorgane werden erfolgreich mit Soolbädern behandelt. Die Wirkung von Mineralwassertrinkkuren im Allgemeinen und der Kochsalzbrunnen ganz besonders ist bis in die neueste Zeit recht unverständlich geblieben, und auf keinem Gebiete der Medizin haben sich Theorie und Praxis, wissenschaftliche Forschung und ärztliche Erfahrung so schroff gegenüber gestanden, wie in der Balneotherapie. Erst der physikalisch-chemischen Analyse ist es gelungen, über die Wirkung der Mineralwässer im Organismus einiges Licht zu verbreiten, wie bereits im Bd. I, p. 827 ff., angedeutet wurde und wie namentlich die Arbeiten Koeppe's beweisen. Man lese: H. Koeppe: Die physikalisch-chemische Analyse der Mineralwässer, Archiv für Balneotherapie und Hydrotherapie, 1898, Bd. 1, Heft 8 und: Die physikalisch-chemische Analyse des Liebensteiner Stahlwassers, daselbst 1900. Bd. 3, Heft 4, und: Physikalische Chemie in der Medizin, Wien, A. Hölder 1900, Abschnitt VII, p. 122 ff.

b) Aräometer mit willkürlicher Skala. Hierher gehören diejenigen Aräometer von konstantem Gewicht, deren Skalen weder das spezifische Gewicht, noch ein bestimmtes Mischungsverhältniss angeben, sondern eine ganz willkürliche Eintheilung besitzen. Die Grade der Skala sind unter sich gleich; das Eintauchen der Instrumente um eine gewisse Anzahl Grade entspricht nicht einer in demselben Maasse veränderten Dichte. Die wichtigsten und bekanntesten Instrumente dieser Art sind folgende:

Aräometer von Baumé.

Antoine Baumé (nicht Beaumé), geb. 26. Febr. 1728 in Senlis, Apotheker u. Prof. d. Chem. am Collège de Pharmacie in Paris, gest. 15. Oktbr. 1804 daselbst.

α) Das Aräometer von Baumé. Baumé verfertigte in Bezug auf die Temperatur von + 10° und + 14° R. Instrumente für Flüssigkeiten, die leichter und schwerer als Wasser sind.

1. Aräometer für leichtere Flüssigkeiten. Zur Anfertigung der Skala senkte Baumé das Instrument in eine Auflösung von 1 Gewichtstheil Kochsalz in 9 Gewichtstheilen destillirten Wassers und bezeichnete den Punkt, bis zu welchem es eintauchte, mit Null. Der Wasserpunkt erhielt die Marke 10. Der Zwischenraum wurde in zehn gleiche Theile getheilt, und diese Eintheilung nach aufwärts beliebig weit, gewöhnlich bis 50 fortgesetzt.

2. Aräometer für schwerere Flüssigkeiten. Der Punkt, bis zu welchem sich das Instrument in einer Auflösung von 0,15 Gewichtstheilen Kochsalz in 0,85 Gewichtstheilen Wasser einstellte, erhielt die Bezeichnung 15, der Wasserpunkt die Marke Null. Der Zwischenraum zwischen beiden Marken wurde in 15 gleiche Grade getheilt und die Theilung nach abwärts beliebig weit, gewöhnlich bis 75, fortgesetzt.

Baumé beschrieb diese Aräometer im Avant-Coureur. 1768. Nr. 45, 50 bis 52 und 1769, Nr. 2, sowie in seinen Eléments de Pharmacie. Paris 1795. Mit

diesen beiden Instrumenten konnte er, Quecksilber ausgenommen, alle Flüssigkeiten untersuchen, und wenn sich dabei auch weder die Massenverhältnisse noch die spezifischen Gewichte ergaben, so zeigte doch der einfachste Versuch, ob eine Flüssigkeit mehr oder weniger, oder ebenso konzentrirt sei als irgend eine andere, deren Konzentration in Baumé-Graden bekannt war. In Folge dieser Einfachheit erlangten die Instrumente alsbald grosse Verbreitung und in den meisten physikalischen, chemischen und technischen Schriften wurde die Konzentration der Flüssigkeiten in Baumé-Graden angegeben. Die ersten Bedenken gegen die Instrumente machten sich geltend, als man sich erinnerte, dass das natürliche Kochsalz, dessen sich der Erfinder zur Bereitung der Probelösung bedient hatte, verschiedene Beimengungen enthalte, so dass die wässerige Auflösung desselben im spezifischen Gewichte grössere oder geringere Unterschiede aufweisen musste.

Eine zweite Einwendung richtete sich gegen die Art, dass Baumé zwei verschieden konzentrirte Lösungen bei der Anfertigung der Skala benutzte und das eine Mal den Wasserpunkt mit Null, das andere Mal mit 10 bezeichnete. Endlich entdeckte man den grössten Fehler dieser Instrumente, den nämlich, dass ihre Richtigkeit durch Nichts kontrollirbar sei. Auch stellte es sich heraus, dass selbst die direkt aus Paris bezogenen Instrumente in ihren Angaben häufig Verschiedenheiten zeigten, und man gelangte daher allmählich zu der Ueberzeugung, dass so schwankende Anhaltspunkte, wie sie die Baumé'schen Instrumente gewähren, nicht für wissenschaftliche Untersuchungen verwendbar seien.

Vor allem aber regte sich der Wunsch, zu wissen, wie viel jeder Baumé-Grad an spezifischem Gewichte bedeute. Die Ersten, welche eine Vergleichstabelle zwischen Baumé-Graden und spezifischem Gewicht aufzustellen sich bemühten, waren G. Gilpin (Nicholson's Journal 1797, p. 39 und Annales de Chimie 1797, T. XXIII, p. 183) und von Gerstner in K. A. Neumann's Lehrbuch der Chemie mit besonderer Hinsicht auf Technologie. Prag 1810). Ferner waren verschiedene Physiker und Chemiker bemüht, auch für Flüssigkeiten, die schwerer als Wasser sind, die 10prozentige Kochsalzlösung zu Grunde zu legen und den betreffenden Zwischenraum an der Skala statt in 15 in 10 gleiche Theile zu theilen. Dadurch wurde auch eine Aenderung in der relativen Grösse der einzelnen Grade veranlasst.

J. F. v. Gerstner 1756—1832.

Joseph Franz von Gerstner wurde am 23. Februar 1756 in Kommotau (Böhmen) geboren, war Professor der Mathematik und Mechanik in Prag und starb am 25. Juni 1832 in Mladiegov (Landgut bei Gitschin in Böhmen).

K. A. Neumann 1771—1866.

Karl August Neumann wurde am 6. April 1771 in Grossbothen bei Leipzig geboren, war Professor der Chemie und Technologie in Prag und zuletzt Fabrikinspektor in Wien. Er starb am 11. Februar 1866 in Prag.

Besondere Verdienste um den Vergleich nicht nur der Baumé'schen, sondern auch anderer Aräometerskalen mit den entsprechenden spezifischen Gewichten hat sich G. Th. Gerlach in Kalk bei Deutz erworben, und seine hierauf bezüglichen Untersuchungen in Dingler's polytechnischem Journal, 1865, Bd. 176, p. 444 ff.; 1866, Bd. 181, p. 358 ff.; 1870, Bd. 198, p. 313 ff., sowie in der Zeitschrift für analytische Chemie, 1865, Bd. 4, p. 1 ff.; 1866, Bd. 5, p. 185 ff.; 1870, Bd. 9, p. 437 ff. und in der Zeitschrift des Vereins für Zuckerrübenindustrie im Zollverein, 1865, Bd. 15, p. 262 ff., mitgetheilt. Nach Gerlach gelten für die Vergleichung der spezifischen Gewichte und Grade bei den Instrumenten von Baumé folgende Formeln:

Für Flüssigkeiten schwerer als Wasser:

bei 10° R. $\Delta = \frac{145,88}{145,88 - n}$ und $n = \frac{145,88\,(\Delta - 1)}{\Delta}$

bei 12° R. $\Delta = \frac{146,33}{146,33 - n}$ $n = \frac{146,33\,(\Delta - 1)}{\Delta}$

bei 14° R. $\Delta = \frac{146,78}{146,78 - n}$ $n = \frac{146,78\,(\Delta - 1)}{\Delta}$

Für Flüssigkeiten leichter als Wasser:

bei 10° R. $\Delta = \frac{145,88}{135,88 + n}$ $n = \frac{145,88 - (135,88\,.\,\Delta)}{\Delta}$

bei 12° R. $\Delta = \frac{146,33}{136,33 + n}$ $n = \frac{146,33 - (136,33\,.\,\Delta)}{\Delta}$

bei 14° R. $\Delta = \frac{146,78}{136,78 + n}$ $n = \frac{146,78 - (136,78\,.\,\Delta)}{\Delta}$

Aräometer von Cartier.

Biographisches über Cartier war bisher nicht aufzufinden.

β) Das Aräometer von Cartier. Der Mechaniker Cartier, dem Baumé die Anfertigung seiner Aräometerskalen übertragen hatte, nahm daran eine willkürliche Veränderung vor. Er verfertigte nämlich ein Instrument für Flüssigkeiten leichter als Wasser in der Art, dass der 22. Grad mit dem gleichen von Baumé's Aräometer zusammenfiel. Von diesem Punkte aus nach auf- und abwärts, theilte er den Raum, den 16 Baumé'sche Grade einnehmen, in 15 gleiche Theile, und den Wasserpunkt Baumé's verlegte er für sein Instrument nach $10^3/_4$ Grad.

Das höchst unsichere Aräometer wurde früher, namentlich in Frankreich, in der Alkoholometrie benutzt. Näheres findet man in von Prechtl's technologischer Encyklopädie. Das spezifische Gewicht für die Temperatur von + 10° R. ergiebt sich bei dem Cartier'schen Aräometer, wenn n die Anzahl der Grade über dem Wasserpunkt bedeutet, nach der Formel:

$$\Delta = \frac{130}{130 + n} \text{ und } n = \frac{130\,(1 - \Delta)}{\Delta}$$

J. J. v. Prechtl 1778–1854.

Johann Joseph von Prechtl wurde am 16. November 1778 in Bischofsheim vor der Rhön geboren, war zuletzt Direktor des polytechnisches Institutes in Wien und österreichischer Regierungsrath und starb am 24. Oktober 1854 in Wien.

Aräometer von Benteli u. Beck.

γ) Das Aräometer von Benteli und Beck. Das von Benteli vorgeschlagene und von Beck in Bern angefertigte Aräometer ist für leichtere und schwerere Flüssigkeiten eingerichtet. Der Wasserpunkt bei 10° R. ist mit Null, und derjenige Punkt, welcher einem spezifischen Gewicht von 0,85 bei derselben Temperatur entspricht, mit 30 bezeichnet. Die Strecke zwischen beiden Marken ist in 30 gleiche Grade getheilt. Die Skala wird über 30 noch bis 70 und unter 30 bis 80 fortgesetzt. Für leichtere Flüssigkeiten kommen die Grade über Null, für schwerere die unter Null in Betracht. Für die Praxis wird diese Eintheilung auf zwei Spindeln vertheilt, von denen die eine, für leichtere Flüssigkeiten bestimmt,

nur die über Null gelegenen Grade enthält, wobei sich dann der Nullpunkt am unteren Ende befindet, während die andere Spindel, für schwerere Flüssigkeiten gebraucht, nur die 80 Grade unter Null besitzt, wobei dann der Nullpunkt am oberen Ende des Halses liegt.

Die Originalmittheilung über dieses Aräometer findet sich in Trommsdorff's Journal der Pharmacie 1800, Bd. 8, p. 177 und 1801, Bd. 9, p. 17 ff.

Die Beziehung zwischen den spezifischen Gewichten und den Graden ergiebt sich aus folgenden Formeln:

$$\Delta = \frac{170}{170 \pm n} \qquad n = \frac{170\,(1 - \Delta)}{\Delta} \text{ für leichtere Flüssigkeiten als Wasser}$$

$$n = \frac{170\,(\Delta - 1)}{\Delta} \text{ für schwerere Flüssigkeiten als Wasser.}$$

J. H. Beck 1773 - 1887.

Johann Heinrich Beck wurde 1773 in Thun geboren, war Schüler von Tralles, Provisor bei dem Apotheker Sigmund Friedrich Benteli in Bern und seit 1805 Professor der Naturlehre und Chemie in Bern. Er starb 1811 in Thun. (Vierteljahrsschrift der naturf. Gesellsch. Zürich, 1887, B. 32, I. Notiz. Nr. 385 von R. Wolf.

Holländisches Aräometer.

δ) Holländisches Aräometer. Im Jahre 1805 versuchte die medizinische Fakultät in Amsterdam das Baumé'sche Aräometer zu verbessern und veröffentlichte ihre Mittheilungen in der Pharmacopoea batava, Amstelodami 1805 apud Joh. Allart. Das Instrument schliesst sich eng an das von Baumé an, unterscheidet sich aber von demselben dadurch, dass, sowohl für schwerere als auch für leichtere Flüssigkeiten, die festen Punkte der Skala in reinem Wasser von + 10° R. und in einer aus 0,1 Gewichtstheilen getrockneten Kochsalzes und 0,9 Gewichtstheilen Wasser bereiteten Lösung von derselben Temperatur bestimmt werden, und dass man in beiden Fällen mit Null zu zählen beginnt.

Die Beziehung zwischen den spezifischen Gewichten und den Graden ergiebt sich aus folgenden Formeln:

Für schwerere Flüssigkeiten:

$$\Delta = \frac{144}{144 + n} \qquad n = \frac{144\,(1 - \Delta)}{\Delta}$$

Für leichtere Flüssigkeiten:

$$\Delta = \frac{144}{144 - n} \qquad n = \frac{144\,(\Delta - 1)}{\Delta}$$

E. Gebrauch und Prüfung der Aräometer.

Allgemeines über den Gebrauch und die Prüfung von Aräometern.

Hinsichtlich des Gebrauches und der Prüfung von Aräometern muss Folgendes betont werden: Die zu untersuchende Flüssigkeit wird in ein sorgfältig gereinigtes Standglas gefüllt, dessen Durchmesser etwa zweimal so gross ist, als der grösste Durchmesser des Instrumentes. Der Flüssigkeitsspiegel muss, auch nach dem Eintauchen des letzteren, mehrere Centimeter von dem Gefässrande entfernt sein. Das Standglas soll eine feste und horizontale Stellung inne haben, damit das Aräometer senkrecht in der Flüssigkeit

schwimmt. Die richtige Stellung wird leicht durch einen mit Stellschrauben versehenen Fuss (Fig. 272 p. 261) unter Beihülfe einer Libelle erreicht. Nach dem Einfüllen der Flüssigkeit wartet man mit der Einsenkung des Instrumentes so lange, bis Luftblasen, die sich in der Flüssigkeit bemerklich machen, verschwunden sind, und die Temperatur des Untersuchungsmateriales mit der Lufttemperatur sich annäherend ausgeglichen hat. Temperaturschwankungen während der Untersuchung müssen sorgfältig vermieden werden. Vor dem Gebrauch wird das ganze Aräometer, womöglich mit Alkohol oder Aether, abgewischt und, nachdem es durch Verdunstung des Reinigungsmittels an der Luft von selbst trocken geworden ist, nur noch am oberen Ende des Halses angefasst. Das Einsenken des Instrumentes erfordert, wenn genaue Ergebnisse erzielt werden sollen, besondere Vorsicht. Jedes Schwanken der Spindel und damit eine Benetzung oberhalb der Einstellungslinie muss vermieden werden. Die Benetzungszone fällt nicht genau mit dem Flüssigkeitsniveau zusammen, sondern erhebt sich durch Kapillarwirkung mehr oder weniger an dem Halse des Instrumentes (Fig. 273 *A*). Dieser Umstand ist bei der Ablesung, welche an derjenigen Linie erfolgen soll, in welcher der Flüssigkeitsspiegel den Hals der Spindel schneidet, zu berücksichtigen. Um die Schnittlinie zu erkennen, bringt man das Auge in eine Stellung dicht unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche. Man erblickt dann an der Stelle, über welcher die Flüssigkeitserhebung liegt, einen Strich, der zu beiden Seiten des Halses deutlich aus dem Flüssigkeitsspiegel hervortritt und sich scharf von ihm abhebt (Fig. 273 *B*). Dieser Strich stellt die Schnittlinie dar. Sobald sich das Auge zu tief unter dem Flüssigkeitsspiegel befindet, sieht es statt des Striches eine länglich runde Fläche; erst wenn man das Auge hebt, zieht sich die Fläche zu dem Strich zusammen. Unmittelbar nach der Aräometerablesung erfolgt die des Thermometers. Nach dem Gebrauch wird das Aräometer gut abgewischt und in einem Etui aufbewahrt.

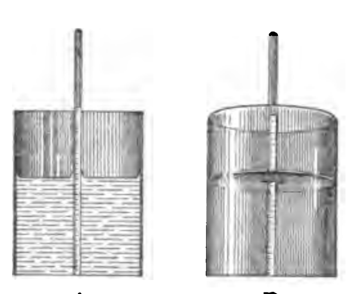


Fig. 273. Aräometerablesung (aus den Tabellen der Ksl. Normal-Aichungs-Kommission von 1890).

Zur Prüfung des Instrumentes auf die Richtigkeit seiner Skala lässt man dasselbe bei derjenigen Temperatur, für welche es angefertigt wurde, für mindestens drei verschiedene Punkte in Flüssig-

keiten von genau bekanntem spezifischem Gewicht schwimmen und ermittelt, ob die Aräometerangabe mit diesem übereinstimmt.

„Ueber Aräometer und deren Prüfung" schrieb B. Weinstein in der Zeitschrift für physikal. Chemie 1891, Bd. 7, p. 71 ff. „Ueber die Fehlerquellen beim Gebrauche der Aräometer" vergl. man A. Fock in derselben Zeitschrift 1888, Bd. II, p. 296 ff.

F. Historisches über Aräometer.

Historisches über Aräometer.

Theon der Jüngere von Alexandria um 330—380 n. Chr.

Gewöhnlich wird der gefeierten Tochter des Theon, mit Namen Hypatia, die sich, wie ihr Vater, mit Mathematik und Astronomie beschäftigte, die Erfindung der Senkwaage zugeschrieben. Dieselbe wird unter dem Namen Hydroskopium (gr. τὸ ὕδωρ Wasser, σκοπέω ich spähe) oder Baryllion (gr. Demin. von τὸ βάρος, das Gewicht, die Schwere) in des Bischofs Synesios Briefwechsel (Ep. 15) mit der Hypatia besprochen. Die erste Kenntniss des Aräometers aber reicht weiter zurück. In den Annales de Chimie vom 30. Thermid. An. VI (T. 27) p. 113 zeigte der „citoyen" Salverte, dass das Instrument bereits in dem Gedichte des um die Zeit von Caligula und Claudius lebenden Rhemnius Fannius Palaemon: „de ponderibus et mensuris", welches am Ende von Priscian's Werken abgedruckt worden ist, beschrieben wurde.

Priscian, latein. Grammatiker, geb. in Cäsarea, lebte im 5. Jahrhundert n. Chr.

Hypatia 355—416.

Hypatia wurde um 355 n. Chr. in Alexandria geboren, woselbst sie bei einem Aufstande von fanatischen Christen unter der Führung des Lectors Petrus im März 416 ermordet wurde. (W. A. Meyer, Hyp. v. Alexandria. Beitrag zur Geschichte des Neuplatonismus, Heidelberg 1886.)

Synesios 370—413.

Synesios wurde um 370 geboren und entstammte einer heidnischen Familie in Kyrene, nahe dem heutigen Tripolis. Er starb als Bischof von Ptolemais (Akka) in Syrien um das Jahr 413 (Volkmann: Synesius von Cyrene, Berlin 1869).

E. Salverte 1771—1839.

Eusèbe Salverte wurde am 13. Juli 1771 in Paris geboren, war anfangs Advokat des Königs und bekleidete später verschiedene Aemter in der Verwaltung. Er starb am 27. Oktober 1839 in Paris (zu vergl. Nouvelle Biographie générale publ. par Didot; la France littér. de Quérard t. 8, p. 426; Littérature franç. contemp. t. 6, p. 304).

Das Carmen de ponderibus wurde von Hultsch in die Scriptores metrologici (II., p. 88 ff.) aufgenommen. W. B. Hofmann (Beiträge zur Geschichte der alten Legirungen, Wien 1884) und Schenkl (Sitzungsberichte der Wiener Akad., Phil. Kl., Bd. 43, p. 35) beschäftigen sich eingehend mit diesem Gedichte. Als Autor nennen sie einen um 300 v. Chr. lebenden Rhemnius Flavinus.

Eleganz und Richtigkeit der Verse, meint Salverte, lassen einen Verfasser aus der Zeit der guten Latinität vermuthen.

„Ducitur argento tenuive ex aere cylindrus,
Quantum inter nodos fragilis producit arundo.
Cui cono interius modico pars ima gravatur,
Ne totus sedeat, totusve supernatet undis.
Lineaque a summo tenuis descendit ad ima
Ducta superficie, tot quaeque in frusta secatur,
Quot scriptis gravis est argenti aerisve cylindrus".

Cajus Plinius Secundus der Aeltere, geb. 23 n. Chr. in Como, gest. 79 bei einem Ausbruch des Vesuv.

Der Dichter berichtet dann weiter, dass man mit dem Instrumente die Schwere jeder Flüssigkeit erkennen könne. In der leichteren sinkt es tiefer ein, in der schwereren ragen mehrere Theile heraus. — Auch Plinius (Hist. natur.

Pariser Ausgabe, Lib. 31, Kap. 21 [2] und 23 [1]) meint vielleicht ein Aräometer, wenn er bemerkt, dass die verschiedensten Wässer, mit der Waage untersucht, keine merklichen Differenzen zeigen.

In Deutschland bediente man sich zu Ende des 16. Jahrhunderts der Senkwaage mit Skala. Johann Thölden, Raths- und Pfannenherr in Frankenhausen, beschreibt sie auf p. 31 ff. seiner 1603 in Eisleben erschienenen „Haligraphia". Verbessert und mit Gewichten versehen wurde das Aräometer von Roberval vor 1663. Die Gewichte aber tauchten mit in die Flüssigkeit ein. Monconys, dem gewöhnlich die Verbesserung zugeschrieben wird, und welcher im Oktober 1663 damit in Travemünde Untersuchungen über das Meerwasser anstellte, beschreibt das Instrument in seinem Journal de Voyages etc., Lyon 1666, T. II. Hinter der Gebrauchsanweisung stehen in einer besonderen Zeile die Worte: „Donné par Monsieur de Roberval."

Giles Persone de Roberval, geb. 8. Aug. 1602 zu Roberval bei Beauvais, zuletzt Prof. der Math. am Collège royal in Paris, gest. 27. Okt. 1675 in Paris.

Um den Fehler, den seine Vorgänger begingen, zu vermeiden, fügte Fahrenheit den Teller zum Auflegen der Gewichte hinzu und gab eine Beschreibung des so verbesserten Instrumentes unter dem Titel: Areometri novi descriptio et usus in den Philosophical Transactions. 1724/25, T. 33, p. 140.

Das Gewichtsaräometer verdankt seine heutige Form dem Civilingenieur Nicholson, dessen darauf bezügliche Abhandlung: „Description of a new instrument for measurig the specific gravities of bodies" sich in den Mem. Manchester Soc. II von 1787 findet.

William Nicholson, geb. 1753 in London, gest. 21. Mai 1815 daselbst.

G. Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten mit dem Aräo-Pyknometer.

Eine Kombination des Aräometers mit dem Pyknometer zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes kleiner Mengen von Flüssigkeiten hat sich Aug. Eichhorn in Dresden-Altstadt patentiren lassen (D.R.P. No. 49683). Des Instrumentes (Fig. 274) soll hier in Kürze gedacht werden. Es ist *c* der zur Aufnahme der zu untersuchenden Flüssigkeit bestimmte Hohlraum, welcher nach der Füllung durch den Glasstöpsel *d* abgeschlossen wird. Ein kleiner Glasknopf *e* dient zur Herstellung des Gleichgewichtes. Die Erweiterung *f* enthält Quecksilber zum Beschweren des Instrumentes, *b* ist eine leere Schwimmkugel, deren Hals die Skala *a* trägt.

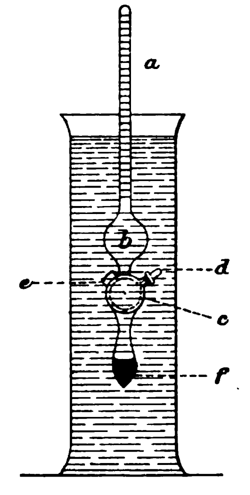


Fig. 274. Aräo-Pyknometer nach Eichhorn. D.R.P. Nr. 49683.

Eichhorn verfertigt die Intrumente sowohl in Sätzen, als auch in einzelnen Exemplaren für bestimmte spezifische Gewichte. Ein Satz, bestehend aus drei Stück von 0,700 bis 1,000, von 1,000 bis 1,500 und von 1,500 bis 2,000 mit Etui und Cylinder kostet 18 Mark; pro Stück, nach Angabe der gewünschten Eintheilung, werden 6 Mark berechnet.

Auf ähnlichem Prinzip beruht ein Aräometer, welches L. N. Vandevyver im Journal de Phys. 1895, 3. Sér., 4, p. 560 beschrieb.

H. Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten mit Pneumatodensimetern (gr. τὸ πνεῦμα, ατος, der Hauch, Athem, Wind).

Schon in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts wurden durch van Musschenbroek zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten Apparate hergestellt, welche auf dem Prinzip beruhen, dass die Höhen unter gleichem Druck im Gleichgewichte sich befindender Flüssigkeitssäulen, bispielsweeise in kommunizirenden Röhren, den spezifischen Gewichten der angewandten Flüssigkeiten umgekehrt proportional sind.

Ein verbessertes Instrument dieser Art ersann Scannegatty (Journal de Physique 1781, T. 17, p. 82) und brauchte dafür den Namen: Hygroklimax (gr. ὑγρός, feucht, flüssig, ἡ κλῖμαξ, ακος, die Leiter, Stufe). Van Musschenbroek's Instrument haben Hare (Sillim. Journal 1826, V. XI) als Litrameter (gr. ἡ λίτρα, ein Gewicht) und C. A. Mester [Archiv des Apothekervereins im nördlichen Deutschland 1819, Bd. 2, Heft 2, p. 143] als Panhygrometer (gr. πᾶν, neutr. von πᾶς, ganz, voll und τὸ ὑδρομέτριον, ein Wasser enthaltendes Gefäss zum Messen) wieder in Vorschlag gebracht. Die ungenauen Resultate, welche alle diese Instrumente ergaben, haben ihre Anwendung verhindert.

Rob. Hare, geb. 17. Jan. 1781 in Philadelphia, gest. 15. Mai 1858 in Philadelphia, wo er Prof. der Chem. war. (Americ. Journ. of science and art. 1858, 2. Ser., Vol 26, p. 100 u The popular science monthly, New York 1893, Vol. 42, p. 695 with Portrait.)

Ueber Scanegatty, der Demonstrator der Physik und Mitglied der Acad. roy. in Rouen war, hat sich daselbst Biographisches bislang nicht auffinden lassen; auch über den Apotheker C. A. Mester liess sich nichts Näheres ermitteln.

Fig. 275. Pneumatodensimeter von A. Michaelis. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Ein brauchbareres Instrument der gedachten Art wurde von A. Michaelis (Zeitschrift für Instrumentenkunde 1883. p. 268) erfunden. Unsere Fig. 275 zeigt seine Einrichtung. Auf dem Fussgestell B ist ein Metallrohr A befestigt, welches mit dem Gummiballon C in Verbindung steht. Mittels der durch einen Fuss des Gestells gehenden Mikrometerschraube D kann der Gummiballon, welcher vor einer an dem Gestell befindlichen Platte lagert, zusammengedrückt und freigegeben werden. Auf dem Metallrohr A ist der Querbalken G mittels einer Hülse verschiebbar. In die ringförmigen Enden dieses Balkens sind Muttergewinde für zwei Mikrometerschrauben J und J' eingeschnitten, welche den beiden Glasnäpfen K und K' zur Stütze dienen. Mittels einer Kautschukdichtung ist in das obere Ende des Metallrohrs A das Glasrohr H eingelassen, welches in die beiden

gleichweiten Schenkel E und F ausläuft. Am unteren Ende derselben befinden sich in gleicher Höhe die beiden Niveaumarken M und M'. Auf dem Schenkel E ist von der Marke M' aus eine als Einheit gewählte, in zwanzig Theile getheilte Strecke von beliebiger Grösse 2,5 mal nach obenhin aufgetragen. Die Theilstriche dieser Skala sind in das Glas eingeritzt. Der Schenkel F hat nur einen Strich bei L, welcher der Höhe des Theilstriches 1,00 auf E entspricht.

Beim Gebrauch des Instrumentes wird mittels der Mikrometerschraube D aus dem Gummiballon C Luft herausgepresst, welche durch A aus den beiden Röhren E und F entweicht. Nach Herablassen des Querbalkens G wird in das Glas K' destillirtes Wasser, in das Glas K die zu untersuchende Flüssigkeit gefüllt. Darauf werden die Gläser durch den Balken G so weit gehoben, bis die Marken M und M' unter das Flüssigkeitsniveau tauchen. Wird nun die Mikrometerschraube D zurückgedreht, so dehnt sich der Gummiballon C wieder aus und saugt Luft aus dem Rohr A. Die Folge hiervon ist, dass die Flüssigkeiten aus K und K' in F und E emporsteigen. Das Zurückdrehen der Mikrometerschraube D muss so lange fortgesetzt werden, bis die Flüssigkeit in dem Rohre F fast die Marke L erreicht hat. Nun stellt man mit Hülfe der Mikrometerschrauben J und J' die Marken M und M' genau in die Niveaus der Flüssigkeiten in K und K'. Durch nochmalige Benutzung der Mikrometerschraube D wird die Flüssigkeitssäule in F genau auf L gestellt und darauf an dem Stande des destillirten Wassers in der Röhre E das spezifische Gewicht bis auf drei Decimalen abgelesen.

Michaelis empfiehlt die Ablesung bei diffusem Licht vor einem mit weissem Papier bedeckten Fenster zu bewerkstelligen. Die Vorzüge des Instrumentes bestehen darin, dass man keine Waage braucht und keine Temperaturkorrektion vorzunehmen hat, da die Flüssigkeiten bei derselben Temperatur verglichen werden.

J. Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten mit dem Hydrodensimeter.

Handl's Hydrodensimeter.

A. Handl in Czernowitz (Zeitschrift z. Förderung des physik. Unterr. 1885, p. 155) hat ein einfaches Hydrodensimeter angefertigt, welches Fig. 276 p. 280 zeigt. Die Beobachtungsröhre *st* (Steigröhre) ist gerade, ungefähr 300 mm lang und 5 bis 10 mm weit und besitzt zwei ringförmige in das Glas eingeritzte Marken m und m', welche genau 200 mm von einander entfernt sind. Die untere Marke m steht ungefähr 20 mm vom unteren Röhrenende ab. Ueber

das obere Ende der Steigröhre greift luftdicht ein Kautschukschlauch. Derselbe verbindet dieselbe mit einem 15 bis 20 mm weiten, etwa 500 mm langen Glasrohr *M*, welches zur Luftverdünnung und zur Druckmessung dient. Dieses Messrohr wird von einem Stativ in der Weise gehalten, dass es in senkrechter Stellung in einen mit destillirtem Wasser gefüllten Glascylinder eintaucht, und aus dieser Stellung bis zu einer bestimmten Höhe emporgehoben werden kann. Um eine Beobachtung auszuführen senkt man das Messrohr möglichst tief in das Wasser ein. Das durch den Schlauch mit *M* verbundene Steigrohr *st*, welches ebenfalls senkrecht in einem Stativhalter befestigt ist, wird dann so tief in die zu untersuchende Flüssigkeit getaucht, dass deren Niveau mit der unteren Marke *m* zusammenfällt. Nun wird das Messrohr *M* soweit gehoben bis die zu untersuchende Flüssigkeit in dem Steigrohr gerade bis zur oberen Marke *m'* angesogen wird. Sollte dabei eine Senkung der Flüssigkeitsoberfläche eintreten, so muss man durch Herablassen des Steigrohrs die genaue Einstellung der unteren Marke in das Niveau aufs Neue bewerkstelligen. Man braucht nun nur noch die Höhe der im Messrohr enthaltenen Wassersäule zu kennen.

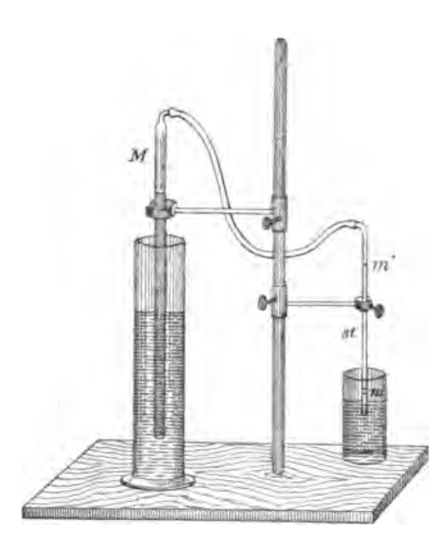


Fig. 276. Hydrodensimeter von A. Handl. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Beträgt dieselbe h mm, ist das spezifische Gewicht der zu untersuchenden Flüssigkeit Δ, das des Wasser δ, so ist:

$$200\,\Delta = h.\delta \text{ oder}$$
$$\Delta = \frac{h.\delta}{200}$$

„Noch einfacher ist es, auf dem Messrohre zwar eine Theilung in Millimetern anzubringen, aber die Bezifferung derselben so einzurichten, dass je 2 mm als 0,01 abgelesen werden, dann findet man die Dichte der zu untersuchenden Flüssigkeit unmittelbar, indem man am Messrohre die Stellung des unteren (äusseren) und des oberen (inneren) Wasserspiegels abliest und die zweite Ablesung von der ersten abzieht."

III. Das spezifische Gewicht des menschlichen Körpers, seiner Gewebe und Gewebsflüssigkeiten nebst allgemeinen Bemerkungen über das spezifische Gewicht der Zelle.

Das spezifische Gewicht des menschlichen Körpers kommt durchschnittlich dem des Wassers nahe. Bei ruhiger Rückenlage im Wasser, wobei noch die Nasenlöcher über dem Wasserspiegel hervorstehen, bedarf es zur Verhinderung des Untersinkens keiner, oder nur sehr geringer rudernder Bewegung der Hände nach abwärts.

Ernst Hermann bestimmte bei seinen mit Unterstützung von Buhl's vorgenommenen Untersuchungen: „Ueber Gewicht und Volumen des Menschen" (v. Buhl's Mittheilungen aus dem patholog. Institut in München, Stuttgart, Enke 1878, p. 1 ff.) das spezifische Gewicht des Menschen im Mittel 0,9213.

Ernst Hermann, geb. 30. Sept. 1848 in München, Prosector an der Anat. in Basel 1873/74, Assist. am pathol. Inst. in München, gest. 5. Febr. 1879 daselbst.

Je grösser der Gasgehalt der Lungen und je fettreicher der Körper ist, desto niedriger ist sein spezifisches Gewicht. Vögel, deren Körper in den sogenannten Luftsäcken, in den Knochen und zwischen dem Gefieder Luft eingeschlossen enthält, schwimmen ohne Weiteres auf Wasser. Wasserleichen steigen durch Fäulnissgase, welche sich in den Körperhöhlen ansammeln, an die Oberfläche.

L. von Buhl, geb. 4. Jan. 1816 in München, Prof. der pathol. Anatomie in München, gest. 2. August 1880 daselbst.

Das spezifische Gewicht der frischen Gewebe ist wegen ihres Wasserreichthums ein niedriges, beim Eintrocknen erhöht es sich. Aber auch in diesem Zustande bleibt es verhältnissmässig niedrig, weil die organischen Stoffe, welche die Gewebe zusammensetzen, schon an und für sich eine geringe Dichte besitzen. Die wichtigsten dieser Stoffe sind die Kohlenhydrate, die Eiweisskörper mit ihren Abkömmlingen und die Fette. Von diesen sind die Fette spezifisch leichter, die übrigen nur wenig schwerer als Wasser. Das an Mineralbestandtheilen reiche Gewebe der Zähne und Knochen besitzt das höchste, Nervengewebe und Fettgewebe zeigen das niedrigste spezifische Gewicht. Die Angaben über das spezifische Gewicht der Gewebe sind noch vielfach schwankend. Ein wesentlicher Grund hierfür muss darin gesucht werden, dass Alter und Individualität dasselbe zu beeinflussen scheinen. Im Allgemeinen können folgende Werthe als maassgebend betrachtet werden:

Spezifisches Gewicht animalischer Gewebe.

Gewebe	Spez. Gew.	Literaturnachweis
Haar	1,280—1,345	Davy: Transact. of the med.-chirg. Soc. Edinburgh 1829, Vol. III, p. 436.
Zahngewebe (Mensch)	2,09—2,24	Galippe: Compt. rend. soc. biolog. 1884, p. 289.
Knochengewebe (Mensch)	1,825—1,901	
Frische Spongiosa des menschl. Femur	1,197	Rauber: Elasticität u. Festigkeit des Knochens, Leipzig 1876, p. 3.
Bindegewebe (Mensch)	1,117	Krause und Fischer: Zeitsch. f. ration. Med. 1866, Bd. 26, p. 306.
Knorpelgewebe (menschl. Rippenknorpel)	1,112	Rauber a. a. O. p. 4.
Quergestreiftes Muskelgewebe		
Aus dem amputirten Fusse eines 19 jährigen Mannes	1,0573	J. Zuran: Ueber die gegenseitige Beziehung der Muskelantagonisten des menschl. Körpers St. Petersburg 1882, p. 15 (russ.).
Von einem kurz vor der Untersuchung getödteten Hunde	1,059	
Von der Leiche	1,047—1,050	
Glattes Muskelgewebe (Mensch)	1,057—1,059	Krause: Allgemeine mikroskop. Anatomie, Hannover 1876, p. 98.
Nervengewebe (Mensch)	1,034—1,038	Derselbe: Daselbst p. 363.
Fettgewebe (Mensch)	0,924—0,932	Derselbe: Daselbst p. 53.
Glaskörper (Corpus vitreum	1,0089	Giacosa: Archivio per le scienze mediche 1882, T. VI, p. 29.
Linse des Auges	1,121	Nunnely: Quarterly Journ. of micr. Sc. 1858, p. 138.
Blut (Mensch)		
Bei der Geburt für beide Geschlechter:	1,066	
Bis zum Ablauf des 2. Jahres im ♂ Geschlecht	1,048	
Bis zum Ablauf des 2. Jahres im ♀ Geschlecht	1,050	Lloyd E. Jo e On the variations in the specific gravity of the blood in health. Journal of Physiology, Vol. VIII, p. 1—14.

Gewebe	Spez. Gew.	Literaturnachweis
Zwischen dem 6. u. 12. Jahre im ♂ Geschlecht	1,0505	
Zwischen dem 6. u. 12. Jahre im ♀ Geschlecht	1,052	
Zur Zeit der Pubertät und folgende Jahre im ♀ Geschlecht	1,053	
Im 18. Jahr (Fingerblut) im ♀ Geschlecht †	1,0550	† C. S. Sherrington and S. M. Copeman: Daselbst 1893, Vol. 14, p. 56.
Im 19. Jahr (Fingerblut) im ♀ Geschlecht †	1,0580	
Zwischen dem 25. u. 35. Jahre im ♀ Geschlecht	1,0515	
Während der Gravidität	1,0499	
Zwischen dem 35. u. 65. Jahre im ♂ Geschlecht	1,0585	Lloyd E. Jones: wie oben.
Zwischen dem 35. u. 65. Jahre im ♀ Geschlecht	1,0515	
Zwischen dem 65. u. 75. Jahre für beide Geschlechter	1,0545	
Nach reichlichem Wassergenuss u. nach Nahrungszufuhr sinkt das spez. Gew. des Blutes; im Schlaf, nach lebhafter Muskelanstrengung und nach Bädern steigt es. Passive lokale Kongestion (Ligatur) erhöht das spez. Gew. des aus dem betreffenden Gliede entnommenen Blutes.		
Blut (Mensch) im ♂ Geschlecht	1,057—1,066	A. Hammerschlag: Zeitschft. für klin. Medizin 1892, XX, p. 444—456.
im ♀ Geschlecht	1,0535—1,061	
Feuchte rothe Blutkörperchen (Mensch)	1,105	Welcker: Zeitsch. f. ration. Med. 20, p. 259.
Blutplasma und Blutserum (Mensch)	1,027—1,029	Krause: Allgem. mikr. Anat. p. 326.
Da die rothen Blutkörperchen schwerer sind als die Blutflüssigkeit, so erklärt sich daraus ihre Eigenschaft zu sinken.		
Chylushaltige Lymphe aus einer Lymphfistel am Präputium eines 10jährigen Knaben	1,0146—1,0250	Hensen: Pflüger's Archiv X, p. 94—113.
Gemenge von Chylus u. Lymphe des Ductus thoracicus	1,007—1,043	Hammarsten: Lehrbuch der physiol. Chemie. Nach der 2. schwed. Aufl. Wiesbaden, Bergmann 1891, p. 98.

Spezifisches Gewicht des menschlichen Blutes in verschiedenen Krankheiten nach Sherrington und Copeman (a. a. O. p. 60).

Chlorose (gr. χλωρός blass, bleich) Bleichsucht	1,041—1,043
Perniciöse (lat. perniciosus gefährlich) Anämie (gr. ἡ ἀν-αιμία der Blutmangel) Blutarmuth	1,027—1,034
Hämoglobinurie	1,050—1,052
Diabetes (gr. ὁ διαβήτης [διαβαίνω]) Harnruhr (zu vergl. p. 214) .	1,058—1,061
Akute Nephritis (gr. ὁ νεφρός die Niere) Nierenentzündung . . .	1,041—1,057
Chorea (gr. ἡ χορεία [χορεύω] der Tanz) Veitstanz	1,050—1,054
Dysenterie (zu vergl. Bd. I, p. 466)	1,049—1,052
Chronische Bleivergiftung	1,031

Unter dem Titel: „Ueber die Fähigkeit der Zelle, aktiv ihr spezifisches Gewicht zu verändern", hat M. Verworn eine Arbeit im 53. Bd. von Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie veröffentlicht. Ich entnehme derselben Folgendes: Es ist eine bekannte Thatsache, dass gewisse Vertreter der pelagischen niederen Thierwelt des Süss- und Salzwassers ohne Gebrauch von Lokomotionsorganen bald ganz nahe der Oberfläche schwimmen, bald in tiefere Regionen sinken. In manchen Fällen mag der Grund hierfür in einer Verschiedenheit des spezifischen Gewichtes des Wassers liegen, wie sie beispielsweise durch Strömungen und anhaltende Regengüsse bewerkstelligt wird. In zahlreichen, ja in den bei weitem meisten Fällen, müssen derartige äussere Ursachen aber ausgeschlossen werden, und es bleibt nur noch die Annahme, der in Rede stehenden Erscheinung eine biologische Ursache zu Grunde zu legen, die darin besteht, dass der Organismus aktiv sein spezifisches Gewicht zu ändern vermag. Hierfür giebt es zwei Möglichkeiten. Entweder muss der Organismus in seinem Stoffwechsel Substanzen erzeugen, die spezifisch schwerer oder leichter sind, als das umgebende Medium, oder aber er muss aus dem letzteren schwerere oder leichtere Substanzen aufnehmen und in sich anhäufen. Beide Möglichkeiten finden sich in der Natur verwirklicht. Viele Süsswasser-Rhizopoden (Wurzelfüsser) und die im Meere lebenden Siphonophoren (Rippenquallen) besitzen die merkwürdige Fähigkeit, in ihrem Leibe Gasblasen zu bilden und sie wieder abzugeben, wodurch sie im Wasser bald steigen, bald sinken. Die Siphonophoren haben zu diesem Zwecke sogar einen besonderen kammerartigen Hohlraum. Verworn's Versuche sind besonders darauf gerichtet, die Verminderung des spezifischen Gewichtes gewisser Radiolarien (Räderthierchen), namentlich Thalassicollen, auf eine Wasseraufnahme aus dem umgebenden Medium in das Protoplasma zurückzuführen und es ist ihm gelungen, diese Erscheinungen unter dem Mikroskope zu verfolgen. Ein bestimmter Abschnitt des Thalassicollenleibes besteht nicht aus kompaktem Protoplasma, sondern ist von zahlreichen und verschieden grossen Vakuolen durchsetzt. Der Inhalt dieser besteht aus Meerwasser minus der darin enthaltenen Salze, da die lebendige Substanz für das osmotische Eindringen der letzteren nicht permeabel ist. Das salzfreie Wasser ist natürlich spezifisch leichter als das salzhaltige der Umgebung, und die mit ersterem gefüllten Vakuolen vermindern daher das spezifische Gewicht des ganzen Körpers derartig, dass er an der Oberfläche zu schwimmen vermag. Reize der verschiedensten Art, welche das, die Vakuolen umschliessende Protoplasma treffen, bewirken, dass dieses sich in der

Richtung gegen das Centrum des kugeligen Leibes zusammenzieht. Dadurch werden die protoplasmatischen Wandungen der Vakuolen zarter und weniger widerstandsfähig, so dass letztere platzen. Wenn dieser Umstand eingetreten ist, sinkt der ganze Leib in die Tiefe, um nicht eher wieder emporzusteigen, als bis nach Aufhören des Reizes und Nachlassen der Plasmakontraktion die Vakuolen sich aufs Neue gebildet haben. — Es gelang Verworn bei seinen Versuchen, die Bedingungen für das Steigen und Sinken der Thalassicollen willkürlich hervorzurufen.

Es soll hier nicht unbemerkt bleiben, dass auf das spezifische Gewicht der Zelle solche Umstände einzuwirken im Stande sind, welche ihre chemische Beschaffenheit in irgend welcher Weise zeitweise oder dauernd verändern. Das spezifische Gewicht einer Ganglienzelle des Gehirns wird, je nachdem sie ermüdet ist oder nicht, ein anderes sein. Ein solcher Unterschied wird sich auch bei einem rothen Blutkörperchen, je nach der Beschaffenheit seines Hämoglobins, geltend machen. Und wenn schon Schwankungen in den physiologischen Prozessen derartige Unterschiede hervorzurufen vermögen, wie viel mehr wird dies noch bei pathologischen Vorgängen der Fall sein.

Durch krankhafte Störungen kann die Ernährung und das Wachsthum der Zelle einerseits in abnormer Weise gesteigert, andererseits gehemmt werden. Damit wird aber meistens nicht nur eine auf Vergrösserung oder Verkleinerung der morphologischen Strukturelemente beruhende Vermehrung oder Verminderung des Volumens bedingt, sondern es gehen damit auch Veränderungen der chemischen Beschaffenheit der Zellsubstanzen Hand in Hand, welche für die Grösse des spezifischen Gewichtes entscheidend sind. Derartige Thatsachen sind auch dann von hoher Bedeutung, wenn wir durch Arzneien in den pathologisch veränderten Haushalt der Zelle einzugreifen uns bemühen, um das physiologische Gleichgewicht wieder herzustellen. Denn obwohl wir bei diesem „heissen Bemühen“ vorläufig meist empirisch verfahren, so haben wir doch die feste Ueberzeugung, dass die therapeutischen Erfolge unserer Arzneimittel auf einer erhöhten Empfindlichkeit der Gewebselemente beruhen, indem die Medikamente auf dem Wege der chemischen Reaktion bald einen Excitations-, bald einen Depressionszustand der Lebensvorgänge beseitigen.

Ueber das spezifische Gewicht animalischer Flüssigkeiten geben folgende Tabellen Aufschluss.

Spezifisches Gewicht animaler Flüssigkeiten.

I. Drüsensekrete.

Sekret	Spez. Gew.	Literaturnachweis
Schweiss (Mensch)	1,005—1,006	Capranica: Contribuzione alla chimica del Sudore. Bolletino della R. Accad. med. di Roma Ann. 8, No. 6.
	1,003—1,005	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 273.
Sperma (Mensch)	1,0364	Lode: Pflüger's Arch. 1891, Bd. 50, p. 287.
Harn (Mensch)	1,015—1,025 zu vergl. p. 213	
Prostatasaft (Hund)	1,012	Eckhard: Beiträge zur Anat. u. Physiol. 1863, II, p. 155.
Gemischter Mundspeichel (Mensch)	1,002—1,009	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 142.
Submaxillarisspeichel (Mensch)	1,002—1,003	Derselbe: Daselbst p. 141.
Submaxillarisspeichel (Hund) Die Sekretion der Submaxillarisdrüse ist abhängig von dem Einfluss der Nerven, die vom Ganglion maxillare in die Drüse eintreten. Das Ganglion enthält aber Fasern vom Nervus lingualis der Chorda tympani und vom Sympathicus. Reizung des einen oder des anderen dieser Nerven, beispielsweise auf elektrischem Wege, bedingt Abfluss eines verschiedenartigen Sekretes. Die Trennung ist beim Hunde bewerkstelligt worden.		
Chordaspeichel	1,0039—1,0046	C. Eckhard: Beiträge zur Anat. u. Phys. Bd. II, p. 205.
Sympathicusspeichel	1,0075 - 1,018	
Parotisspeichel (Mensch)	1,0072—1,012	Fubini: Annotazioni sopra la salvia parotidea etc. L'Osservatore. Gazetta delle Cliniche di Torino 1878.
Pankreasspeichel (Hund)	1,003—1,012	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. 1. Aufl., p. 142.
	1,03	L. Hermann: Lehrb. d. Phys. Berlin 1889, p. 144.

Sekret	Spez. Gew.	Literaturnachweis
Magensaft (Mensch)	1,001—1,010	Lassaige: Journ. de chim. medic. 1844, p. 183. Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 148.
	1,0022—1,0024	C. Schmidt: Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. 92, p. 44.
Darmsaft (Hund)	1,0107 (Mittel)	L. Thiry: Wiener Sitzungsber. 1864, m.-natw. Cl. Bd. 50, p. 87.
	1,010	Fubini & Luzzati: Untersuchungen zur Naturl. von Moleschott Bd. 13, p. 378.
(Ziege)	1,0187	K. B Lehmann: Pflüg. Arch. Bd. 33, p. 181.
Galle (Mensch)	1,0105—1,0107	O. Jacobsen: Ber. d. d. chem. Ges. Jahrg. 6, p. 1026.
	1,0104	Westphalen: Deutsch. Arch. f. klin. Med. 1873, Bd. XI, p. 588.
	1,0082	Gerald F. Yeo & E. F. Herroun: Note on the composition of human bile obtained from a fistula. Journ of Phys. V, p. 116.
Frauenmilch	1,026—1,035 Schwankungen im spez. Gew. hängen wesentl. von dem Fettgehalt ab u. dieser ist sehr unbeständig u. durchaus regellos.	Radenhausen: Zeitsch. f. phys. Chem. V, p. 16. E. Pfeiffer: Beiträge zur Physiol. der Muttermilch etc. Zeitsch. f. Kinderheilk. 20, p. 359.
Colostrum am ersten Tage nach der Entbindung	1,040—1,060	F. Simon: Die Frauenmilch. Berlin 1838.
Kuhmilch	Schlempe- Grünfütterung	S. Friedländer, M. Schrodt & M. Schmöger: Forschungen auf dem Gebiete der Viehhaltung u. ihrer Erzeugnisse VIII, p. 368.
Morgenmilch	1,03199 1,03278	
Mittagmilch	1,03188 1,03196	
Abendmilch	1,03147 1,03220 Bei 1100 Milchproben sank das spez. Gew. nie unter 1,029 u. stieg nur dreimal über 1,0340	

Sekret	Spez. Gew.	Literaturnachweis
Colostrum (zu vergl. d. Zahlen auf p. 244)	1,06—1,08	W. Engling: Centralbl. f. Agrikulturchem. VIII, p. 215.
Schafmilch	1,024	Bunge: Zeitschrift f. Biolog. 1874, X, p. 295.
	1,037	Weiske und Kennepotl: Journ. f. Landwirthschaft 1881, 29, p. 451
	1,0368—1,0372	Fleischmann: Milchzeitung X, Nr. 35, p. 549.
Morgenmilch	1,0374	G. Sartori: Ann. di Chim. e di farmac. 4. Ser. VI, p. 203
Abendmilch	1,0381	
Ziegenmilch	1,030—1,034	Vernois & Becquerel: Compt. rend. T. 36, p. 188.
Büffelmilch	1,0319	F. Strohmer: Zeitschft. f. Nahrungsmitteluntersuchung und Hygiene II, p. 17.
	1,033	M. Schrodt: Vierteljahrsschrift üb. d. Fortschr. a. d. Geb. d. Chem. d. Nahrungs- & Genussmittel IV, p. 137.
Colostrum	1,0591	C. Könauth: Daselbst IV. p. 139.
Stutenmilch (10 Wochen nach dem ersten Wurf)	1,040	König: Chem. d. menschl. Nahrungs- & Genussmittel I, p. 37.

II. Seröse Flüssigkeiten; Transsudate u. Exsudate; Synovia, Sputum u. Eiter.

Substanz	Spez. Gew.	Literaturnachweis
Amnionflüssigkeit (Fruchtwasser) (Mensch)	1,007—1,011	Landois: Lehrb. d. Physiol. Wien, 1885, p. 994.
	1,002—1,028	Nach älteren Angaben.
Hydramnionflüssigkeit	1,007—1,008	E. Harnack: Berliner klin. Wochensch. 1888, Nr. 41.

Substanz	Spez. Gew.	Literaturnachweis
Cerebrospinalflüssigkeit (Mensch)	1,010	Yvon: Journ. de pharm. et de chim. 26, p. 240.
	1,005	Hammarsten: Lehrb. der physiol. Chemie p. 104.
Humor aqueus (Mensch)	1,003—1,009	Nach eigenen Untersuchungen.
Synovia (Mensch) bei Hydarthrosis genu	1,0174	Hammarsten: Bidrag till synovians kemi. Upsala Läkareföreningsförh. 17.
bei akuter Synovitis genu	1,0221	Derselbe: Daselbst.
bei krankhafter Ansammlung im Knie	1,023	Hoppe-Seyler: Physiol. Chemie, Berlin 1881, Thl. 4, p. 623.
Perikardialflüssigkeit (Mensch)	scheint nicht bestimmt zu sein	
(Hund)	1,013	Nach eigener Untersuchung.
Pleuralflüssigkeit (Mensch) bei frischer akuter Pleuritis	1,016—1,023	Méhu: Bull. méd. du Nord. Mai 1872.
bei chronischer Pleuritis	1,024—1,030	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 102.
Peritoneal(Ascites)flüssigkeit (Mensch)	1,0175	A. Hirschler & Koloman Buday: Orvosi hetilap. Budapest 1889, p. 424.
	1,025	H. P. Oerum: Kemiske Studier over Ovariecyste vaedsker. Kopenhagen 1884.
Chylöse Ascitesflüssigkeit (Mensch)	1,023	J. Stern: Virchow's Archiv 81, p. 384.
Anasarkaflüssigkeit	1,005—1,100	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 104.
Hydroceleflüssigkeit	1,028	P. Devillard: Bull. Soc. chim. 42, p. 617.
	1,016—1,026	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p 103, 104.
Spermatoceleflüssigkeit	1,006—1,010	
Hydrocephalusflüssigkeit eines $2^{3}/_{4}$jährigen Mädchens	1,0074	F. Müller: Mitthlg. d. Würzburger med. Klinik I, p. 267.
	1,008	Reuss: Deutsch. Arch. f. klin. Med. 1821; 28, p. 322.

Substanz	Spez. Gew.	Literaturnachweis
Seröse Flüssigkeit der Cysten, die durch Dilatation der Graafschen Follikel entstehen	1,009	H. P. Oerum: a. a. O.
Hydrops folliculi Graafiani	1,005—1,022	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 241.
Myxoid- u. Kolloidkystomflüssigkeit Minimum	1,010	H. P. Oerum: a. a. O.
Maximum	1,038	
	1,015—1,030	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 242.
Flüssigkeit d. papillären Kystome	1,036	H. P. Oerum: a. a. O.
	1,032—1,036	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 244.
Parovarialkystenflüssigkeit	1,0065—1,0115	H. P. Oerum: a. a. O.
	1,002—1,009	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 244.
Flüssigkeit bei Hydrops tubae	1,008—1,0085	H. P. Oerum: a. a. O.
Flüssigkeit bei Hydronephrose	1,0095	H. P. Oerum: a. a. O.
Flüssigkeit der Echinococcuscystensäcke	1,012	J. Munk: Virchow's Archiv 68, p. 560.
	1,005—1,015	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 105.
Sputum, serös, dünnflüssig	1,037 steigt mit Eitergehalt	H. Kossel: Zeitsch. f. klin. Med. 13, p. 149.
Eiter	1,031—1,033	
äusserste Grenzen	1,020—1,040	Hammarsten: Lb. d. phys. Chem. p. 105.

Ueber das spez. Gew. patholog. Trans- und Exsudate vergl. man noch: H. Citron (Deutsch. Arch. f. klin. Med. 1890, Bd. 46, p. 129); J. W. Runeberg: daselbst 1884, 35, p. 293; Lunin: Dorp. Diss. 1892; E. Neuenkirchen: St. Petersbg. med. Wochensch. 1889, 14, p. 103.

Umfassende und genaue Angaben über das spezifische Gewicht von 5227 festen und flüssigen Körpern aller Art findet man bei: F. W. Clarke: The constants of nature. A table of specific gravity for solids and liquids. Smithonian Institute, Washington 1888.

IV. Bestimmungsmethoden für Gase und Dämpfe.

1. Bestimmungsmethoden für Gase.

Methode von Regnault zur Bestimmung des spez. Gewichtes eines Gases.

a) Direkt mittels der Methode von Regnault. Das Verfahren, welches Regnault (Mém. de l'acad. roy. des sc. de l'institut de France 1847, T. 21, p. 121) beschrieb, besteht in Folgendem:

Zwei vom Glasbläser annähernd gleich gross geblasene Glasballons von etwa 10 l Inhalt werden am Rande des Halses mit einer Metallfassung versehen, die einen Haken zum Aufhängen besitzt. Die Fassung des grösseren Ballons enthält einen Hahn. Man füllt beide Ballons mit Wasser. Alsdann

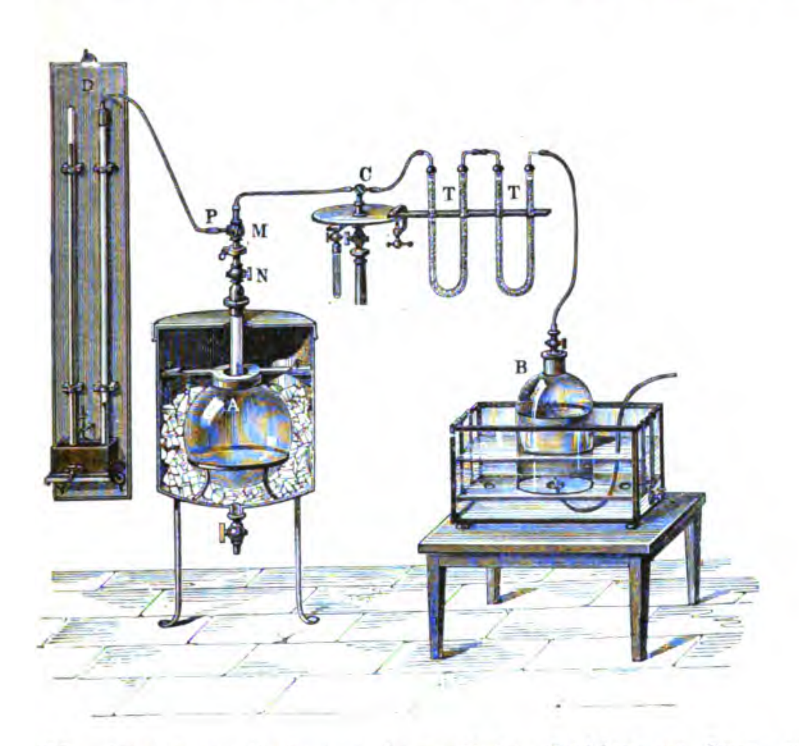


Fig. 277. Apparat zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Gasen, aus J. Jamin's Cours de phys. Paris, Mallet-Bachelier 1859, T. II, p. 171. *A* ist ein in passender Weise mit Eis umgebener Glasballon von bekanntem Kubikinhalt. Ueber dem Hahn *N* befindet sich eine, mit dem Dreiweghahn *M* versehene, aufgeschraubte Röhrenleitung. Das Stück *P* derselben führt zu dem als Manometer dienenden Differentialbarometer *D*, das Stück *MC* zu dem Teller einer Luftpumpe und zu den Trockenröhren *T*. Je nach der Stellung des Hahnes *C* lässt sich der Ballon *A* auspumpen, beziehungsweise aus der Glocke *B* mit trockenem Gas füllen. Nach mehrfacher Wiederholung dieses Verfahrens wird die Verbindung von *A* mit der Luftpumpe durch passende Stellung des Hahnes *M* aufgehoben, während die Verbindung mit dem Manometer bestehen bleibt. Die Höhendifferenz des Quecksilberstandes in den beiden Röhren von *D* wird mittels eines Kathetometers abgelesen.

hängt man den einen Ballon an die eine, den anderen an die andere Schale einer starken Waage und bringt diese ins Gleichgewicht. Werden nun die beiden an der Waage hängenden Ballons in ein Gefäss mit Wasser getaucht, so wird in Folge der Volumverschiedenheit beider das Gleichgewicht gestört. Zur Wiederherstellung desselben ist das Auflegen eines Zulagegewichtes auf die höher

hängende Schale erforderlich. Wenn man nun eine geschlossene Glasröhre, welche, unter Wasser getaucht, so viel an Gewicht verliert, als die Zulage beträgt, an den kleinen Ballon hängt, so ist das Volumen ber beiden Ballons gleich gemacht und der Gewichtsverlust für beide derselbe, mögen sie von Wasser oder Luft umgeben sein. Nachdem man das Wasser der beiden Ballons wieder entfernt hat, umgiebt man den grösseren derselben mit Eis und füllt ihn bei 0° und dem Drucke p mit dem trockenen Gase, dessen spezifisches Gewicht bestimmt werden soll. Den hierzu erforderlichen Apparat zeigt Fig. 277, p. 291.

Durch Schliessung des Hahnes *N* sperrt man das Gasvolumen V von der Temperatur 0° und dem Drucke p ab. Dann löst man die Verbindung des Ballons mit dem Röhrensystem, befreit den Ballon von anhaftender Feuchtigkeit und hängt ihn an die eine Waagschale, während an der anderen Schale der leere Ballon mit der zum Volumenausgleich dienenden Glasröhre hängt. Das jetzt zur Aequilibrirung erforderliche Zulagegewicht sei g. Man bringt nun den Ballon wieder in das Eisgefäss, verbindet ihn mit den Trockenröhren, öffnet die erforderlichen Hähne und füllt ihn unter Atmosphärendruck mit dem zu untersuchenden Gase. Bei abermaliger Wägung des jetzt unter dem Drucke p^1 abgesperrten Gasvolumens von 0° betrage das zur Aequilibrirung des Ballons erforderliche Zulagegewicht g^1. Es ist dann, bezogen auf Wasser, das spezifische Gewicht des Gases

$$s_0 = \frac{g - g^1}{V} \cdot \frac{760}{p - p^1}$$

und bezogen auf Luft, wenn man mit dieser die entsprechenden Versuche ausführt und dabei π und π^1, γ und γ^1 findet

$$\sigma_0 = \frac{g - g^1}{\gamma - \gamma^1} \cdot \frac{\pi - \pi^1}{p - p^1}$$

Bestimmung des spez. Gewichtes eines Gases aus der Ausströmung durch enge Oeffnungen.

b) Indirekt durch Ausströmungsversuche. Durch Versuche von Graham und Bunsen (zu vergl. Bd. I, p. 721) hat sich herausgestellt, dass die Zeiten, in welchen gleiche Volumina verschiedener Gase durch eine enge Oeffnung hindurchtreten (Effusion) den Quadratwurzeln aus den spezifischen Gewichten der Gase proportional sind.

Werden also die Ausströmungszeiten T und T^1 für ein bestimmtes Gas und für Luft beobachtet, so ergiebt sich dass pezifische Gewicht s des Gases, bezogen auf Luft, aus der Gleichung:

$$s = \left(\frac{T}{T^1}\right)^2$$

R. W. Bunsen 1811–1899.

Robert Wilhelm Bunsen wurde am 31. März 1811 in Göttingen geboren. Mit 19 Jahren promovirte er und mit 22 Jahren habilitirte er sich daselbst. Im Jahre 1836 wurde er Lehrer der Chemie am polytechnischen Institute (Gewerbeschule) zu Cassel. Im Jahre 1838 erhielt er die Professur für Chemie in Marburg, 1851 in Breslau und 1852 in Heidelberg, wo er bis zum Jahre 1889 mit Freude und Eifer eine Lehrthätigkeit entfaltete, wie sie an Tüchtigkeit und Hingebung nur selten zu finden ist. Im Alter von 78 Jahren legte er sein Amt nieder, um dann, die Beschwerden des Greises wenig achtend, mit ungeschwächtem Interesse in Zurückgezogenheit und im Verkehr mit Freunden die Fortschritte der Wissenschaft eifrigst zu verfolgen. Er starb nach längerem Leiden am 16. August 1899 in Heidelberg. Die Lebensarbeit Bunsen's, der die Physik und Chemie in neue Bahnen lenkte, ist eine so gewaltige, dass zu ihrer vollen Würdigung ein Folioband nicht zu gross wäre.

Lux (Zeitschrift f. Instrumentenkunde 1885, p. 411, 1886 p. 255 u. Zeitschrift f. analyt. Chem. 1886, Bd. 25, p. 3) und Lommel (Zeitschrift f. Instrumentenk. 1886, p. 109 u. Ann. der Phys. u. Chem. 1886, N. F., Bd. 27, p. 144) haben Apparate anfertigen lassen, welche das spezifische Gewicht der Gase nach dem archimedischen Prinzip zu besimmen erlauben. Von einer Besprechung dieser Methode wird hier abgesehen.

E. C. v. Lommel 1837—1899.

Eugen Cornelius Joseph Lommel (später persönlich geadelt) wurde am 19. März 1837 in Edenkoben (Pfalz) geboren. Er war Professor der Physik folgeweise in Hohenheim, Erlangen und München und starb am 19. Juni 1899 in München.

Bestimmung des spez. Gew. von Gasen mittels angeblasener Orgelpfeifen.

c) Mittels angeblasener Orgelpfeifen. Zur Bestimmung der Dichte von Rauchgasen, Leuchtgas etc. hat Rud. Jahoda eine Methode zur Anwendnng gebracht, welche für technische Zwecke genügende Genauigkeit besitzt. Das Verfahren beruht auf einer Beziehung zwischen der Gasdichte und der Höhe von Tönen, die das zu untersuchende Gas erzeugt, wenn man durch dasselbe Orgelpfeifen anblasen lässt. Die Tonhöhe wird als umgekehrt proportional den Quadratwurzeln aus den Dichten betrachtet. Ein wesentliches Erforderniss ist, dass das Gas unter stets gleichem Drucke in die Pfeife strömt. Die Pfeife wird zu diesem Zwecke mit einem Druckregulator, beziehungsweise Manometer verbunden.

Jahoda ist der Ansicht, dass sein Apparat ein werthvolles Hülfsmittel für manche Anforderungen der Praxis bildet, beispielsweise für den Nachweis schlagender Wetter (zu vergl. Bd. I, p. 719) geeignet ist. — Die Mittheilung Jahoda's unter dem Titel: „Ueber eine Methode zur Bestimmung der Gasdichte mittels angeblasener Pfeifen" findet sich in den Sitzungsberichten der Wiener Akad. 1899, Bd. 108, Abth. 2, p. 803, mit 1 Textfigur.

2. Bestimmungsmethoden für Dämpfe (Dampfdichtebestimmung).

Allgemeines über Dampfdichtebestimmungen.

Behufs Ausführung der Bestimmung der Dichte d von Dämpfen muss dass Gewicht der Stoffmenge g und das der Luftmenge G, die beide im luftförmigen Aggregatzustande und bei gleicher Temperatur und gleichem Druck dasselbe Volumen einnehmen, bekannt sein.

Anstatt G mit der Waage direkt zu ermitteln (Bunsen: Annalen der Chem. und Pharm. 1867, Bd. 141, p. 273), ersetzt man die Wägung auch durch eine Volummessung unter Berücksichtigung der Druck- und Temperaturverhältnisse. Man erhält das auf die Normalbedingungen (zu vergl. Bd. I, p. 714) reduzirte Volumen V, wenn v das bei t^0 und p mm Druck abgelesene Volumen und α der Ausdehnungskoeffizient der Luft ist, auf Grund der bekannten Gasgesetze nach der Gleichung:

$$V = \frac{v \cdot p}{760\,(1 + \alpha\, t)}$$

Unter Berücksichtigung, dass das Gewicht von 1 ccm Luft bei 0° und 760 mm Druck 0,0012932 Gramm beträgt, ist

$$\text{also } G = \frac{0{,}0012932 \,.\, v \,.\, p}{760\,(1 + \alpha\, t)} \text{ und}$$

$$\text{daher } d = \frac{760\, g\,(1 + \alpha\, t)}{0{,}0012932 \,.\, v \,.\, p}$$

Diese allgemeine Formel für die Dampfdichte wird, falls einzelne Grössen nicht direkt bestimmbar sind, in passender Weise abgeändert. Für die experimentelle Ermittelung der Dampfdichte kommen zwei verschiedene Prinzipien zur Anwendung. Das eine stammt von Gay-Lussac, das andere von Dumas.

Nach dem Gay-Lussac'schen Verfahren wird eine gewogene Menge Substanz verdampft und ihr Volumen im Gaszustande bei der Versuchstemperatur und dem angewandten Druck bestimmt. Es handelt sich bei diesem Verfahren also wesentlich um eine Volummessung. — Bei der Dumas'schen Methode ermittelt man von der zu untersuchenden Substanz diejenige Dampfmenge, die bei der Versuchstemperatur und dem angewandten Druck ein bekanntes Volumen — etwa das einer Kolbenflasche — einnimmt. Es handelt sich bei diesem Verfahren also wesentlich um eine Gewichtsbestimmung. Im chemischen Laboratorium finden namentlich solche Methoden Verwendung, denen das Gay-Lussac'sche Prinzip zu Grunde liegt und zwar deswegen, weil dabei weniger Substanz (0,1 bis 0,2 g) gebraucht wird, als bei den auf dem Dumas'schen Prinzip sich gründenden Methoden und ferner deswegen, weil es leichter ist einen Stoff zu wägen und dann erst sein Volumen im gasförmigen Aggregatzustande zu ermitteln, als umgekehrt eine Dampfmenge zu wägen.

Das Gay-Lussac'sche Verfahren ist aber nur dann bequem, wenn das Untersuchungsmaterial schon bei verhältnissmässig niedriger Temperatur in Dampfform übergeht. In ihrer ursprünglichen Gestalt findet die Gay-Lussac'sche Methode kaum noch Verwendung; in einer von A. W. Hofmann und Anderen verbesserten Form ist sie gelegentlich noch in Gebrauch. An die Gay-Lussac'sche Methode schliesst sich das namentlich von Victor Meyer ausgebildete sogenannte Verdrängungsverfahren, bei welchem das vom Dampf des Untersuchungsmateriales eingenommene Volumen durch die Menge eines davon verdrängten Stoffes gemessen wird. Für chemische Zwecke, insbesondere zur Bestimmung des Molekulargewichtes, übertrifft das Verdrängungsverfahren alle anderen Methoden an Brauchbarkeit. Wir betrachten der Reihe nach die ursprüngliche

Methode von Gay-Lussac, die Abänderungen dieser Methode, das Verdrängungsverfahren und die Methode von Dumas.

Dampfdichtebestimmung nach Gay-Lussac.

a) Gay-Lussac's Methode zur Bestimmung der Dampfdichte. Den Apparat, welcher bei dieser Methode angewandt wird, zeigt Fig. 278. Eine, an ihrem oberen Ende geschlossene, kalibrirte und mit Skala versehene Glasröhre *g* ist mit Quecksilber gefüllt und steht in einem ebenfalls Quecksilber enthaltenden eisernen Gefässe *f*. Die Substanz, deren Dampfdichte bestimmt werden soll, bringt man in ein dünnwandig ausgeblasenes Glaskügelchen *a* und schmilzt dieses dann zu. Darauf lässt man dasselbe in dem Quecksilber der Röhre *g* emporsteigen. Die Röhre *g* wird mit einem beiderseits offenen Glascylinder *b* umgeben, der von einer, an der Stange *C* befestigten Metallspange gehalten wird. Der Glascylinder *b* reicht bis auf den Boden des eisernen Gefässes *f*. Die Röhre *g* kann mittels des Metallstabes *d*, der ihr oberes Ende mit einer Kappe *e* umfasst, fest gegen den Boden des Gefässes *f* gedrückt werden. Damit die Kommunikation des Quecksilbers in *g* und *f* nicht gehindert wird, ist der Boden von *f* mit Rillen versehen. Der Cylinder *b* wird mit Wasser (Oel, Glycerin etc.) gefüllt. Das eiserne Gefäss *f* wird auf dem Ofen *o* erhitzt. Beim Erhitzen platzt die, das Untersuchungsmaterial enthaltende Glaskugel und der austretende Inhalt verwandelt sich in Dampf. Behufs gleichmässiger Erwärmung des die Röhre *g* umgebenden Bades, wird dieses mit dem Rührer *r* in fortwährender Bewegung erhalten. Wenn die Temperatur die für die Untersuchung erwünschte Höhe erreicht hat, worüber das Thermometer *t* Aufschluss giebt, liest man das Volumen des über dem Quecksilber in der Röhre *g* befindlichen Dampfes an der Skala ab, notirt Barometerstand und Lufttemperatur und den Höhenunterschied des Quecksilbers innerhalb und ausserhalb der Röhre *g*. Letzteres geschieht mit Hülfe eines in Millimetern getheilten, mit Schieber *s* versehenen Stiftes *st*, dessen unteres Ende die Oberfläche des Quecksilbers im Kochgefässe berührt. Die Schieberspitze wird auf die Höhe der Quecksilbersäule in *g* eingestellt und ihr Stand am Stifte *st* abgelesen.

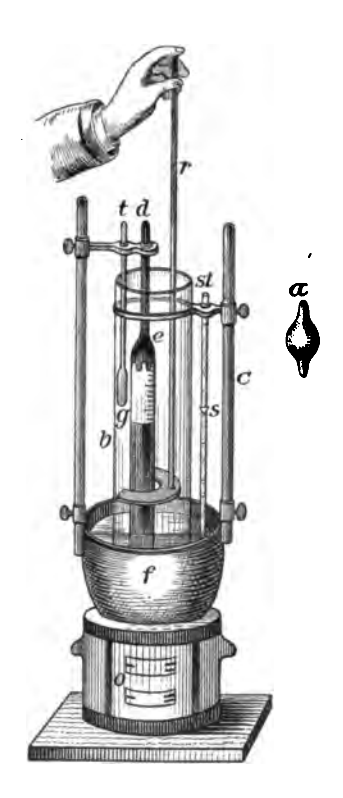


Fig. 278. Gay-Lussac's Apparat zur Bestimmung der Dampfdichte. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Beispiel: Es war die Dampfdichte des Pentans, einer leicht beweglichen, ätherisch riechenden, im pennsylvanischen Steinöl enthaltenen Flüssigkeit (C. Schorlemmer: Annalen der Chem. u. Pharm., Bd. 161, p. 268) zu bestimmen.

Das Gewicht der angewandten Substanz betrug 0,101 g, die Temperatur des Wassers 91° C., das Volumen des Dampfes 59,5 ccm, der Barometerstand 752 mm. die Temperatur der Luft 16° C. und der Unterschied der Quecksilberhöhen 220 mm, Der Druck, unter welchem der Pentandampf stand, wird gemessen durch den

Luftdruck minus dem Druck der Quecksilbersäule in der Röhre *g*. Um die Differenz der beiden Drucke bilden zu können, müssen sie vorher auf gleiche Temperatur reduzirt werden.

Unter Berücksichtigung, dass der Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers für 1° 0,00018 ist, erhält man:

$$\frac{752}{1 + (0{,}00018 . 16)} = 749{,}84$$

und

$$\frac{220}{1 + (0{,}00018 . 91)} = 216{,}45$$

Der auf dem Pentandampf lastende Druck beträgt also 749,84 — 216,45 = 533,39. Das dem Dampfvolumen entsprechende Luftvolumen wiegt, da das Gewicht von 1 ccm Luft bei 0° und 760 mm Druck 0,0012932 g beträgt:

$$G = \frac{0{,}0012932 . 59{,}5 . 533{,}39}{760\,(1 + 0{,}003665 . 91)};$$

da 0,101 g Substanz angewandt wurden, so ist

$$d = \frac{760 . 0{,}101\,(1 + 0{,}003665 . 91)}{0{,}0012932 . 59{,}5 . 533{,}39} = 2{,}492.$$

Abänderungen der Methode von Gay-Lussac.

Jacob Natanson, geb. 14. Nov. 1832 in Warschau, Prof. der Chemie daselbst, gest. 14. Sept. 1884 daselbst.

b) Abänderungen der Gay-Lussac'schen Methode. Die Gay-Lussac'sche Methode ist nur für verhältnissmässig niedere Temperaturen brauchbar. Für höhere Temperaturen hat Natanson die Röhre *g* statt mit Flüssigkeit mit Luft umgeben, welche durch glühende, in einem doppelwandigen Blechmantel enthaltene Holzkohlen erhitzt wurde. Zur Ablesung des Dampfvolumens ist der Blechmantel mit passend angeordneten Einschnitten versehen. Unbequemlichkeiten und Fehler, welche dieser Apparat mit sich bringt, wurden von A. Grabowski und L. Pfaundler vermieden. — In Fig. 279 ist ein von A. W. Hofmann (1) angewandter Apparat abgebildet. Als Ersatz der Gay-Lussac'schen Röhre (Fig. 278 *g*) dient ein etwa 1 m langes, 15 bis 20 mm weites, am oberen Ende geschlossenes, kalibrirtes Glasrohr *a* (Fig. 279), welches, mit Quecksilber gefüllt, in der Wanne *w* umgestülpt wird, wobei in dem Rohr ein 20 bis 30 mm umfassendes Vakuum entsteht. Das Rohr *a* wird von dem Glasmantel *b* umgeben. Letzterer wird an seinem unteren Ende durch den Kautschukstopfen *k* gestützt. Oben verengt sich *b* zu einem, mit dem Kessel *K* verbundenen Dampfzuleitungsrohr *C*. Das Abzugsrohr *d* ist entweder an dem Glasmantel angeschmolzen oder es tritt durch eine zweite Bohrung des Kautschukstopfens *k* hindurch. In dem Kessel *K* wird, je nach Erfordniss, Wasser- oder Anilindampf oder Dampf irgend einer anderen Flüssigkeit von konstantem Siedepunkt erzeugt. Bei Anwendung von Wasserdampf strömt derselbe durch *d* in die Luft. Der Dampf anderer Flüssigkeiten wird in dem Kühlgefässe *e* verdichtet, aus welchem das Kondensationsprodukt in das Auffangegefäss *f* gelangt. Das Untersuchungsmaterial wird in einem kleinen Kölbchen mit eingefettetem Stöpsel (zu vergl. Bd. I, p. 597) abgewogen. Sobald das Kölbchen nach dem Emporsteigen in dem Quecksilber der Röhre *a* in das Vakuum gelangt, wird der Stöpsel entweder gleich oder beim Einströmen des Dampfes abgeworfen. Wenn die Temperatur konstant geworden ist, misst man das Dampfvolumen, notirt den Barometerstand, bestimmt mit Hülfe der Messvorrichtung *g* den Unterschied der Quecksilberoberflächen und berücksichtigt, falls die angewandte Temperatur über 100° beträgt, auch noch die Tension des Quecksilberdampfes. Letztere muss ebenso wie der Höhenunterschied der Quecksilberoberflächen von dem auf 0° reduzirten Barometerstand in Abzug

gebracht werden. Da eine mit Skala versehene Glasröhre bei Temperaturveränderungen leicht springt, so schlug A. W. Hofmann (2) vor, statt dieser eine nicht graduirte Röhre zu wählen und die Höhe der Quecksilbersäule mittels des Kathetometers zu bestimmen. Nach Erkaltung des Apparates und nach Entfernung des Glasmantels klebt man, der Einstellung entsprechend, einen Papierstreifen als Marke auf das Rohr *a*. Um das auf diese Weise festgestellte Volumen in Kubikcentimetern auszudrücken, braucht man das Rohr *a* nur noch bis zur Marke mit Quecksilber zu füllen und dieses dann zu wägen. Der Quotient aus dem Gewichte der Quecksilbermenge in Grammen ausgedrückt und aus dem spezifischen Gewichte des Quecksilbers giebt das gesuchte Volumen in Kubikcentimetern. Bei dem Hofmann'schen Apparate wird derjenige Abschnitt der Quecksilbersäule, welcher unterhalb des Kautschukstopfens liegt, nicht von Dampf umspült. Es muss daher, behufs Erzielung einer einheitlichen Temperatur, der grössere von Dampf umspülte Abschnitt des Quecksilbers von der Temperatur des Dampfbades und der kleinere von Luft umgebene Theil des Quecksilbers von der Temperatur der Luft auf 0° reduzirt werden. Hierbei schleicht sich jedoch ein Fehler ein, da es keine scharfe Abgrenzung der Temperatur der beiden Abschnitte der Quecksilbersäule giebt. Dieser Fehler ist zwar bei niedrigen Temperaturen ohne grosse Bedeutung, bei höherer Temperatur jedoch nicht ohne Einfluss.

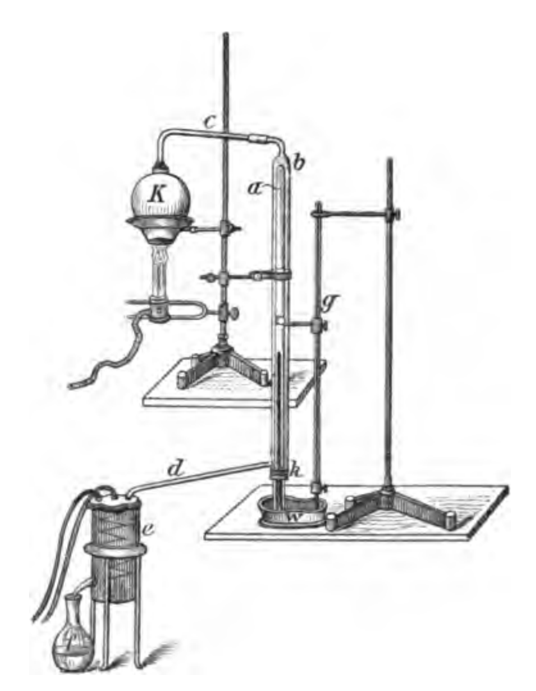


Fig. 279. A. W. Hofmann's Apparat zur Bestimmung der Dampfdichte. Erklärung der Bezeichnungen im Text.

Wichelhaus umging diesen Fehler dadurch, dass er das Gefässbarometer Hofmann's durch ein Heberbarometer ersetzte. Alsdann wird aber der Apparat weniger einfach und leichter zerbrechlich. Auch wird bei diesem Verfahren zur Erzielung einer konstanten Temperatur mehr Dampf verbraucht. Endlich lässt sich immer nur ein Versuch anstellen, weil beim Erkalten des Apparates Luft in das Vakuum eindringt, während man bei Anwendung des Gefässbarometers das Dampfvolumen wiederholt und bei verschiedenen Temperaturen bestimmen kann. — A. W. Hofmann (2) hielt es daher für zweckmässiger, das Gefässbarometer beizubehalten und den Glasmantel desselben soweit zu verlängern, dass sein unterer Rand in das Quecksilber der Wanne taucht. Einige Centimeter über seinem Rande ist an dem Mantel ein Rohr angeschmolzen, durch welches der überschüssige Dampf

und die durch Verdichtung desselben sich ansammelnde Flüssigkeit entweichen können. Noch eine andere Einrichtung ersann A. W. Hofmann (2). Dieselbe besteht darin, dass die Barometerröhre auf einer am Boden der Quecksilberwanne liegenden Kautschukplatte ruht, die auf einer Eisenplatte aufgekittet ist, welche einen über die Oberfläche des Quecksilbers hervorragenden Griff trägt. Die Kautschukplatte besitzt eine Rinne, welche, unter die Mündung der Barometerröhre gebracht, eine Kommunikation zwischen dem Quecksilber der Röhre und dem der Wanne erlaubt, während diese Kommunikation bei entsprechender Verschiebung der Platte verhindert wird. Beim Durchtritt des Dampfes durch den Mantel fliesst das aus der Röhre verdrängte Metall in die Wanne. Sobald die Quecksilbersäule im Barometerrohr einen festen Stand einnimmt, bewirkt man durch Verschieben der Platte den Verschluss der Röhrenmündung. Die Verschiebung muss mit Hülfe eines an der Platte befestigten Griffes vorgenommen werden, da sich das Niveau des Quecksilbers in der Wanne und Röhre beim Eintauchen der Finger in das Metall erhöhen würde. Nach dem Erkalten des Apparates bestimmt man mittels eines Kathetometers die Höhe der in der Röhre eingeschlossenen Quecksilbersäule und reduzirt auf 0°. Weitere Abänderungen des Apparates haben J. W. Brühl, C. Engler, sowie Muir und Sugiura vorgeschlagen.

Ueber August Wilhelm Hofmann (aus bürgerlicher Familie, später geadelt) wurde bereits in Bd. I, p. 549 berichtet. Unter den vielen, über diesen Gelehrten erschienenen Biographien möge hier nachträglich besonders auf eine hingewiesen werden, die zugleich ein chronologisches Verzeichniss und eine Würdigung seiner sämmtlichen Schriften enthält; es ist die von Nölting und Gerber im Moniteur scientifique 1897, Livr. 662, p. 89—156, mit dem Titel: La vie et l'oeuvre de A. W. von Hofmann.

c) Das Verdrängungsverfahren. *α*) Flüssigkeitsverdrängungsmethode. Die weitgehendste Abänderung der Gay-Lussac'schen Methode besteht darin, dass nicht das Volumen des Dampfes der angewandten Substanz, sondern das Gewicht eines von dem entwickelten Dampfe verdrängten Stoffes bestimmt wird. Wiederum war es A. W. Hofmann (3), der von dieser Methode zuerst Gebrauch machte, indem er vom Dampf des Untersuchungsmateriales Quecksilber verdrängen liess und die verdrängte Menge desselben wog.

Th. Wertheim änderte die Methode dahin ab, dass er nicht das verdrängte, sondern das im Apparate zurückbleibende Quecksilber wog.

Weiter ausgebildet wurde Hofmann's Quecksilberverdrängungsmethode namentlich durch V. Meyer (1). Bei hohen Temperaturen verwandte V. Meyer (1 u. 1a) statt des Quecksilbers die Wood'sche Metalllegirung (zu vergl. Bd. I, p. 913). Auch G. Goldschmidt und G. Ciamician haben sich mit dieser Methode beschäftigt.

Gasverdrängungsmethode von V. Meyer.

β) Das Gasverdrängungsverfahren. Die bequemste und eleganteste Methode zur Bestimmung der Dampfdichte eines bei gewöhnlicher Temperatur festen oder flüssigen Körpers ist die sogenannte Gasverdrängungsmethode, welche im Jahre 1878 von V. Meyer (2) und seinem Schüler C. Meyer eingeführt wurde. Sie besteht darin, dass der Dampf des Untersuchungsmateriales ein gleiches Volumen Luft von gleichem Druck und gleicher Temperatur verdrängt.

Dieses Luftvolumen wird bei Zimmertemperatur und dem herrschenden Barometerstande gemessen. Die Temperatur im Vergasungsgefässe kommt bei der Berechnung nicht in Betracht. Am Barometerstande ist eine Korrektur anzubringen, falls die verdrängte Luft, wie

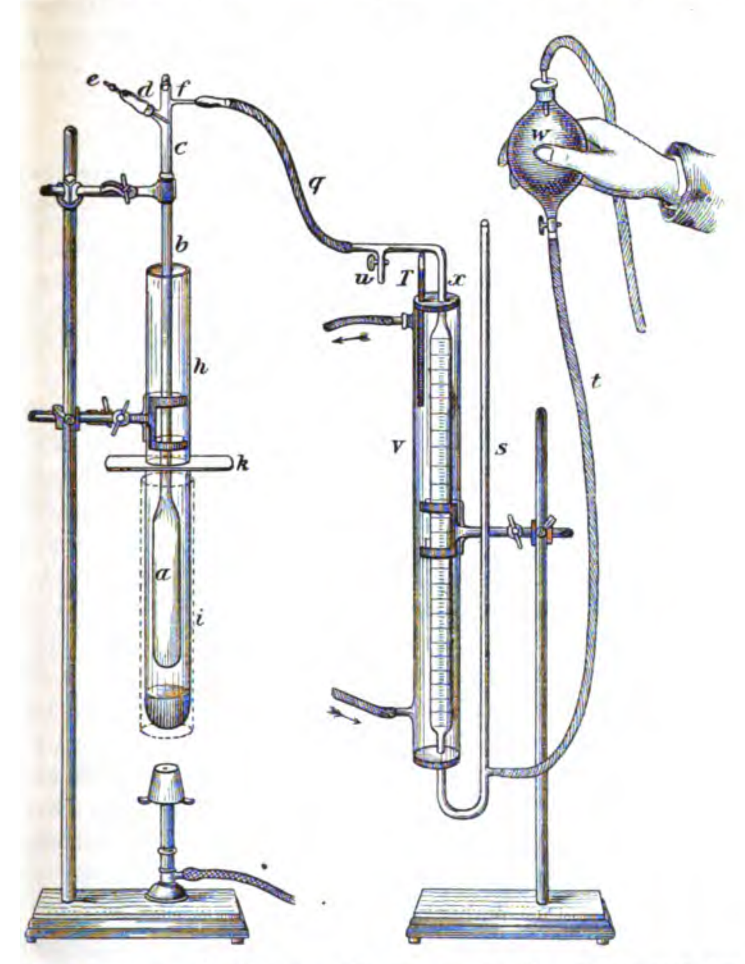


Fig. 280. Apparat von V. Meyer zur Bestimmung der Dampfdichte nach dem Gasverdrängungsverfahren. *T* Thermometer; die übrigen Bezeichnungen im Text.

üblich, über Wasser als Sperrflüssigkeit aufgefangen wird. Es wirkt nämlich die von der Temperatur abhängige Tension des Wasserdampfes (zu vergl. Bd. I, p. 601) druckvermindernd, so dass das über Wasser gemessene Luftvolumen grösser erscheint, als es wirklich ist. Subtrahirt man die Spannung, welche der Wasserdampf bei der Ablesungs-

temperatur besitzt, von dem herrschenden Barometerstand, so wird der Fehler korrigirt.

Ist g das Gewicht des Untersuchungsmateriales, V das gemessene Luftvolumen, t die bei der Messung desselben herrschende Temperatur, p der Barometerstand und $p_,$ die Tension des Wasserdampfes bei der Ablesungstemperatur, so lautet die zur Berechnung der Dampfdichte erforderliche Formel:

$$d = \frac{760 . g (1 + \alpha t)}{0,001293 . V . (p - p_,)}$$

Der Apparat für die Gasverdrängungsmethode besteht aus einem etwa 22 cm langen, 3 cm weiten Glasrohr (Fig. 280 *a* auf p. 299), dem sogenannten Vergasungsgefässe, welches unten geschlossen ist und sich oben zu einem etwa 40 cm langen, $^1/_2$ cm weiten Rohre *b* verjüngt. Letzteres ist durch ein Schlauchstück und eine Ligatur von ausgeglühtem Kupferdraht mit dem Rohr *c* verbunden, welches dieselbe Weite wie *b* hat.

Das Ansatzrohr *d* trägt mit Hülfe eines dehnbaren Kautschukschlauches den verschiebbaren Glasstab *e*. Durch die obere, mit einem Stöpsel verschliessbare Oeffnung *f* lässt sich das abgewogene Untersuchungsmaterial in das Rohr *c* bringen. Falls der zu untersuchende Stoff flüssig ist, wird er in ein dünnwandiges Glasei gefüllt, welches man alsdann zuschmilzt. Die Menge des Untersuchungsmateriales ist so zu wählen, dass von dem Dampf desselben etwa 10 bis 20 ccm Luft verdrängt werden. Der Glasstab, welcher in das Rohr *c*, den sogenannten Warteraum, hineinragt, verhindert das darin befindliche Material am Herabfallen. Statt des Glasstabes wird auch eine von Mahlmann angefertigte Hahnvorrichtung benutzt (V. Meyer [5] und Pond). Das Erwärmen des Vergasungsgefässes *a* erfolgt durch den Dampf gewisser Stoffe mit festem Siedepunkt. Man lässt diese Stoffe in dem Rohr *h* sieden. Bei dieser Art der Erhitzung wird das Vergasungsgefäss stets auf gleichbleibender Temperatur erhalten.

Durch passende Wahl des Siedemateriales kann man leicht Temperaturen bis zu 600° C. erreichen. Bei Anwendung solcher Stoffe, deren Siedepunkt über 400° C. liegt, empfiehlt es sich, damit die Dämpfe bis an den Hals des Vergasungsgefässes gelangen, den Siedemantel mit einem beiderseits offenen Cylinder aus Eisenblech (Fig. 280 *i*) zu umgeben. Diese Umhüllung hält die emporsteigenden Flammengase zusammen und verhindert die zu schnelle Verdichtung der Dämpfe im Siedegefässe. Ein Schirm aus Asbestpappe (*k*) hält die Flammengase von dem oberen Theil des Siedegefässes ab. Da Siedegefässe aus Glas bei Einwirkung von Temperaturen über 200° C. in

ihrem unteren geschlossenen Abschnitte manchmal Sprünge aufweisen, hat V. Meyer (3) vorgeschlagen als Siedemantel einen beiderseits offenen Glascylinder zu wählen, dessen unterer Rand von der 2 cm tiefen Rinne eines gusseisernen Rinnentiegels (Fig. 281) aufgenommen wird. Hierdurch wird eine direkte Berührung des Glases mit der Flamme vermieden. Behufs Verhinderung des Austretens siedender Flüssigkeit am unteren Rande des Glascylinders, füllt man die Tiegelrinne mit Quecksilber oder mit Wood'schem Metall.

Die am häufigsten gebräuchlichen Stoffe, welche zur Erzeugung einer konstanten Temperatur benutzt werden, finden sich auf p. 15 erwähnt. Dort nicht genannte Stoffe sind noch: Phenanthren 340°, Triphenylmethan 358°, Quecksilber 360°, Antimontrijodid 401°, Schwefel 448°, Wismuthtribromid 453°, Phosphorpentasulfid 518°, Zinnchlorür 606°.

Zur Erzielung von Temperaturen über 600° sind besondere Oefen (Perrot'sche Gasöfen [V. Meyer (4)], Gebläseöfen etc.) erforderlich. Bei Anwendung sehr hoher Temperaturen muss das Vergasungsgefäss aus Porzellan oder Platina hergestellt werden. Die Platinagefässe werden durch Porzellanumhüllungen von der Feuerung getrennt. Nach vielen Versuchen ist es V. Meyer und M. von Recklinghausen gelungen aus Magnesit von Steiermark, welcher mit Magnesium chlorid verrieben wird, Hohlbirnen zu formen, die selbst im Wassergasofen gasdicht bleiben.

Wenn Luftsauerstoff auf das Untersuchungsmaterial chemisch einwirkt, so muss das Vergasungs gefäss mit einem indifferenten Gase gefüllt werden. Zu diesem Zwecke giebt man dem Gefässe die Form, wie sie Fig. 282 zeigt, und leitet das Gas (Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure etc.) durch die Röhre r von unten ein. Der Gasstrom wird erst dann unterbrochen, wenn sich das Untersuchungsmaterial im Warteraum befindet. Zum Verschluss der Röhre r dient ein Kautschukschlauch mit Quetschhahn. Auch die gewöhnlich gebräuchlichen Vergasungsgefässe lassen sich mit indifferentem Gas füllen, wenn man dieses mittels eines dünnen, langen Rohres durch den Hals des Vergasungsgefässes bis auf dessen Boden leitet, das Zuleitungs-

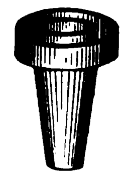


Fig. 281. Gusseiserner Rinnentiegel zur Benutzung bei d. Dampfdichtebestimmung bei einer Temperatur über 200° C. nach der Methode von V. Meyer.

Fig. 282. Vergasungsgefäss zur Bestimmung der Dampfdichte nach d. Verdrängungsverfahren von V. Meyer, zum Füllen mit indifferentem Gas eingerichtet.

rohr langsam und ohne den Gasstrom zu unterbrechen, herauszieht und dann den Warteraum schliesst.

Um das vom Dampf des Untersuchungsmateriales verdrängte Volumen der Luft oder des indifferenten Gases zu bestimmen, ist ein besonderer Messapparat erforderlich, der mit dem Vergasungsgefässe in Verbindung gebracht wird. Als Messapparat dient ein in $^1/_{10}$ ccm getheiltes, etwa 50 ccm fassendes, kalibrirtes, einseitig geschlossenes Glasrohr, in welchem man die verdrängte Luft oder das verdrängte indifferente Gas über Sperrflüssigkeit auffängt. Fr. Meier und J. M. Crafts haben als Messapparat eine Bürette empfohlen, die, wie Fig. 280 p. 299 zeigt, mit dem Vergasungsgefässe durch den Kautschukschlauch *q* verbunden ist. Die Bürette besteht aus einem U-Rohr, dessen dünner Schenkel *s* durch den Schlauch *t* mit dem Sperrflüssigkeitsbehälter *w* kommunizirt.

Mit Hülfe des letzteren wird das Flüssigkeitsniveau in dem graduirten, allenfalls noch mit dem Kühler *v* versehenen Bürettenschenkel *x* auf den obersten Theilstrich eingestellt. Nach dem Eintritt der aus dem Vergasungsgefässe verdrängten Luft, beziehungsweise des indifferenten Gases, wird der Hahn *u* geschlossen. Man senkt dann den Behälter *w* so weit, dass die Sperrflüssigkeit in beiden Schenkeln der Bürette wieder gleich hoch steht. Alsdann erfolgt die Ablesung des Gasvolumens. Behufs Ausführung einer Dampfdichtebestimmung beschickt man den Siedemantel mit dem zur Erhaltung einer konstanten Temperatur gewählten Stoff und schreitet zur Erhitzung. Letztere wird so regulirt, dass der Siedemantel bis zum oberen Drittel des Vergasungsgefässhalses mit Dampf gefüllt ist. Während des Anheizens bleibt der Warteraum geöffnet.

Wenn die Temperatur so regulirt ist, dass der Dampf sich immer an derselben Stelle des Siedemantels verdichtet, lässt man das Untersuchungsmaterial in den Warteraum gleiten und schliesst denselben. Nach der Vereinigung des Vergasungsgefässes mit dem Messapparat beobachtet man einige Zeit den Stand der Sperrflüssigkeit. Sobald derselbe unveränderlich bleibt, zieht man die Fallvorrichtung zurück und lässt das Untersuchungsmaterial in das Vergasungsgefäss gelangen. Damit der Boden desselben nicht zerschlagen wird, belegt man denselben vorher mit etwas Asbest- oder Glaswolle, falls dadurch keine Dissociation der sich entwickelnden Dämpfe hervorgerufen wird. Alsbald beginnt das Uebertreten der durch den Dampf verdrängten Luft, beziehungsweise des indifferenten Gases in den Messapparat. Wenn sich das Niveau der Sperrflüssigkeit in diesem nicht mehr ändert, ist der Vorgang beendet.

Bei Anwendung eines gewöhnlichen Messrohres, welches mit seiner Mündung über der des Entbindungsrohres steht, muss der Warteraum gleich nach der Beendigung des Vorganges geöffnet werden, um das Uebertreten von Sperrflüssigkeit in das heisse Vergasungsgefäss zu verhindern.

Methode von Dumas.

d) Methode von Dumas. Zur Anwendung dieser Methode ist ein sorgfältig gereinigter, trockener, kugelförmiger Glasballon von 100 bis 300 ccm Inhalt erforderlich. Der Hals des Ballons muss zu einem etwa 5 mm weiten Rohr ausgezogen sein. Man wägt den Ballon. Eine genaue Wägung wird dadurch erleichtert, dass man nach Regnault (Compt. rend. 1845, T. 25, p. 975) den Gewichtsunterschied zwischen dem auf der einen Seite der Waage befindlichen Versuchsballon und einem zweiten ebenso grossen und nur wenig leichteren zugeschmolzenen Ballon bestimmt, der die andere Seite der Waage beschwert. Der Vergleichsballon wird bei allen im Verlaufe des Verfahrens erforderlichen Wägungen als Tara benutzt. Auf diese Weise macht man sich von etwaigen Veränderungen im Auftriebe der Luft unabhängig. In den Versuchsballon bringt man 4 bis 5 g des Stoffes, dessen Dampfdichte ermittelt werden soll. Dann zieht man den Hals des Ballons zu einer Kapillare aus. Das hierbei abfallende Rohrstück wird gewogen und sein Gewicht von dem des Ballons subtrahirt. Befindet sich das Untersuchungsmaterial im flüssigen Aggregatzustande, so zieht man den Hals des Ballons schon vor der ersten Wägung zu einer gebogenen Kapillare aus, welche man nach der Wägung in die Flüssigkeit taucht, um diese durch vorsichtiges Erwärmen und Abkühlen des Ballons mit Hülfe des Luftdruckes in denselben hineinzutreiben. Man bringt dann den Ballon (Fig. 283 *b*) mittels eines Stativs (Fig. 283 *st*) in ein, je nach dem niedriger oder höher gelegenen Siedepunkt des Untersuchungsmateriales, mit Wasser, Oel, Paraffin, Chlorcalciumlösung etc. gespeistes Bad, und zwar in der Art, dass die Spitze der Kapillare aus dem Bade hervorragt (Fig. 283). Die durch das Thermometer *T* gemessene Temperatur des Bades muss konstant sein und bei dem herrschenden Luftdrucke mindestens 10° über dem Siedepunkt des Untersuchungsmateriales liegen. Wenn Dämpfe siedender Stoffe als Heizmittel verwandt werden sollen, so wählt man als Heizraum, wie bei der Gasverdrängungsmethode, einen Glasmantel, und statt des Ballons ein cylindrisches Gefäss zur Aufnahme des Untersuchungsmateriales. Der beim Erhitzen des Ballons sich entwickelnde Dampf des Untersuchungsmateriales tritt aus der Kapillare ins Freie. Wenn alle Substanz dampfförmig geworden ist, was sich an dem Nachlassen des Dampfstrahles und daran erkennen lässt, dass ein Tröpfchen verdichteter Substanz in der Oeffnung der Kapillare sich befindet, so

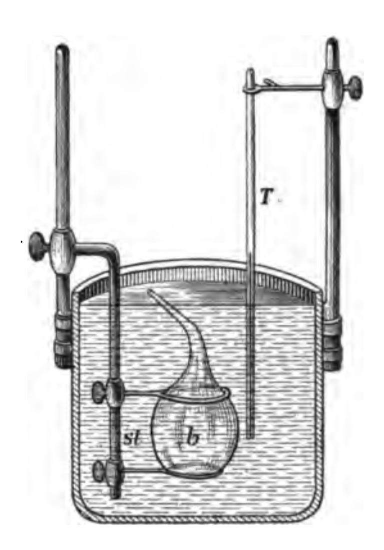


Fig. 283. Apparat zur Bestimmung der Dampfdichte nach Dumas.

schmilzt man letztere mit einer Gebläselampe zu und notirt die Temperatur des Bades und den Barometerstand. Darauf wird der geschlossene, mit Dampf gefüllte Ballon aus dem Bade herausgenommen, abgewaschen, getrocknet und wiederum gewogen, wobei man die Temperatur in der Umgebung der Waage und abermals den Barometerstand aufschreibt. Alsdann ritzt man die Spitze der zugeschmolzenen Kapillare mit einem Glasmesser und bricht sie unter ausgekochtem, also luftfreiem Wasser oder Quecksilber ab. Der Ballon füllt sich bis auf eine kleine Luftblase, die durch den Dampf der Substanz gewöhnlich nicht ausgetrieben wird, mit der Sperrflüssigkeit. Man wägt nun den abgetrockneten, die Sperrflüssigkeit enthaltenden Ballon nebst der abgebrochenen Spitze, füllt dann den Raum, welchen die Luftblase inne hat, auch noch aus und wägt zum letzten Male.

Zur Berechnung der Dampfdichte sind folgende Daten erforderlich:

m Gewicht des leeren offenen Ballons,
$m_,$ Gewicht des mit Dampf gefüllten und geschlossenen Ballons,
M Gewicht des vollkommen mit Wasser oder Quecksilber gefüllten Ballons,
$M_,$ Gewicht des bis auf die Luftblase mit Wasser oder Quecksilber gefüllten Ballons,
t Temperatur des Bades während des Zuschmelzens der Kapillare,
b Barometerstand während des Zuschmelzens der Kapillare,
$t_,$ Temperatur bei der Wägung des mit Dampf gefüllten Ballons,
$b_,$ Barometerstand während dieser Wägung,
λ Dichte der Luft während dieser Wägung,
3β Kubischer Ausdehnungskoeffizient (zu vergl. p. 191) des Glases = 0,0000025,
Q Dichte der zum Ausfüllen des Ballons benutzten Sperrflüssigkeit (für Wasser 1, für Quecksilber 13,56).

Es ist dann die Dampfdichte des Untersuchungsmateriales:

$$d = \frac{(m_, - m)\frac{Q}{\lambda} + (M_, - m_,)}{(M - m)\frac{b\,(1 + \alpha\, t_,)}{b_,\,(1 + \alpha\, t)}\,[1 + 3\,\beta\,(t - t_,)] - (M - M_,)}$$

Ueber die Ableitung dieser Formel vergl. man: Ann. der Phys. u. Chemie (Poggendorff's Folge), Bd. 41, p. 449 und Kohlrausch: Leitfaden der praktischen Physik 1896, p. 69.

Die Wägung des mit Dampf gefüllten Ballons lässt sich manchmal durch ein Titrirverfahren ersetzen, wodurch beträchtliche, bei der Wägung auftretende Fehler vermieden werden.

L. F. Nilson und Pettersson haben das Dumas'sche Verfahren für feste hygroskopische und leicht zersetzliche Substanzen brauchbar gemacht.

Abänderungen des Verfahrens von Dumas.

J. Habermann hat eine Abänderung des Dumas'schen Verfahrens angegeben, welche dadurch gekennzeichnet ist, dass man nicht mehr als 1 g Substanz und keine den Siedepunkt derselben übersteigende Temperatur anzuwenden braucht. Der Ballon wird mit einer Wasserstrahlluftpumpe und einem Manometer verbunden. Die Verdampfung des Untersuchungsmateriales findet bei vermindertem Druck statt, und es können daher auch solche Körper untersucht werden, die bei gewöhnlichem Druck nicht ohne Zersetzung sieden. Bei der Berechnung ist von dem Barometerstand der Manometerstand in Abzug zu bringen. Methoden zur Dampfdichtebestimmung unter vermindertem Druck sind ausser der Habermann'schen Modifikation des Dumas'chen Verfahrens mehrfach ausgearbeitet worden, unter Anderen von G. Dyson, W. Bott und D. S. Macnair, C. Schall, H. Malfatti

und P. Schopp, W. La Coste, Th. W. Richards, G. Lunge und O. Neuberg und J. Traube.

Bei den meisten dieser Methoden wird der V. Meyer'sche Apparat mit gewissen erforderlichen Abänderungen benutzt. Hier kann auf diese Methoden nicht näher eingegangen werden.

Ueber die Dichte des gesättigten Wasserdampfes stellten unter Anderen Fairbairn und Tate (Philosophic. Transact. 1860, Vol. 150, p. 185, Philos. Mag., Ser. 4, Vol. 21, p. 230) Beobachtungen an; die Dichte des gesättigten Dampfes verschiedener Flüssigkeiten untersuchte Herwig (Annal. der Phys. u. Chem. Pogg. Folge 1869, Bd. 137 und 1870, Bd. 141). Eine nähere Berücksichtigung dieser Bestimmungen müssen wir uns ebenfalls versagen.

W. Fairbairn 1789–1874.

Sir William Fairbairn, F. R. S., wurde 1789 in Coldstream geboren. Er war Maschinenfabrikant und Privatgelehrter in Manchester und starb am 18. August 1874 in Manchester.

H. A. B. Herwig 1844–1881.

Hermann Anton Bernhard Herwig wurde am 14. Januar 1844 in Münster (Westfalen) geboren, war Professor der Physik in Darmstadt und starb daselbst am 28. April 1881.

Literatur zur Dampfdichtebestimmung.

H. Biltz: Ueber die Bestimmung der Molekulargrösse einiger anorganischer Substanzen. Daselbst 1896, Bd. 19, p. 385.

H. Biltz: Die Praxis der Molekulargewichtsbestimmung, Berlin, H. Kornfeld 1898.

H. Biltz und V. Meyer: Ueber die Dampfdichtebestimmung einiger Elemente und Verbindungen bei Weissgluth. Zeitschrift f. physikal. Chemie 1889, Bd. 4, p. 249.

W. Bott und D. S. Macnair: Ein Apparat zur Bestimmung von Dampfdichten (mit 3 Abbildungen). Daselbst 1887, Jahrg. 20, p. 916.

J. W. Brühl: Ueber Dampfdichte-Bestimmungen. Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft 1876, Jahrg. 9, p. 1368.

Dumas: Mém. sur quelques points de la théorie atomistique. Annales de chim. et de phys. 1826, T. 33, p. 337. (Auf p. 341 ff. die Beschreibung des Apparates zur Dampfdichtebestimmung).

G. Dyson: A new apparatus for the determination of vapour densities. Chemic. News 1887, Vol. 55, p. 88.

C. Engler: Eine kleine Verbesserung am Hofmann'schen Apparat bei Dampfdichtebestimmungen im Naphtalindampf. Berichte der deutschen chem. Gesellsch. 1876, Jahrg. 9, p. 1419.

Gay-Lussac: Annonce d'un travail sur la densité des vapeurs de divers liquides. Ann. de chim. 1811, T. 80, p. 218 und Biot's Traité de Phys., T. 1, p. 291.

G. Goldschmiedt und G. Ciamician: Ueber eine Modifikation der Dampfdichtebestimmung (mit 2 Figuren). Berichte der deutschen chem. Gesellschaft 1877, Jahrg. 10, p. 641.

A. Graf Grabowski: Methode und Apparat zur Bestimmung der Dampfdichte. Annalen der Chemie und Pharmacie, Bd. 138, p. 174.

J. Habermann: Ueber eine Modifikation der Dumas'schen Methode der Dampfdichtebestimmung. Daselbst, Bd. 187. p. 341 mit Tafel III.

A. W. Hofmann (1): Ueber Bestimmung von Dampfdichten in der Barometerleere. Berichte der deutsch. chem. Ges. 1868, Jahrg. 1, p. 198.

A. W. Hofmann (2): Bemerkungen über Dampfdichtebestimmung in der Barometerleere. Daselbst 1876, Jahrg. 9, p. 1304.

Derselbe (3): Zur Kenntniss der Phosphorbasen. Annal. d. Chem. u. Pharm. 1861, Suppl. 1, p. 10.

Derselbe: Notiz über Dampfdichtebestimmung. Berichte der deutsch. chem. Ges. 1878, Jahrg. 11, p. 1684.

W. La Coste: Ueber ein neues Verfahren zur Bestimmung der Dampfdichte hochsiedender Substanzen im luftverdünnten Raum (mit 2 Fig.). Daselbst 1885, Jahrg. 18, p. 2122.

G. Lunge und O. Neuberg: Zur Bestimmung von Dampfdichten (mit 1 Fig.). Daselbst 1891, Jahrg. 24, p. 729.

H. Malfatti und P. Schoop: Die Methoden der Dampfdichtebestimmung bei vermindertem Druck. Zeitschrift f. physikal. Chemie 1887, Bd. 1, p. 159.

Fr. Meier und J. M. Crafts: Ueber die Dampfdichte des Jods. Ber. der deutsch. chem. Ges. 1880, Jahrg. 13, p. 851 (auf p. 855 d. Abbildung der Messbürette).

L. Meyer: Zu Victor Meyer's Dampfdichtebestimmung. Daselbst 1880, Jahrg. 13, p. 991.

V. Meyer (1): Verfahren zur Bestimmung der Dampfdichte hochsiedender Körper (mit 6 Fig.). Daselbst 1876, Jahrg. 9, p. 1216.

Derselbe (1[a]): Ueber Dampfdichtebestimmung (mit 2 Fig.). Daselbst 1877, Jahrg. 10, p. 2068.

Derselbe (2) und C. Meyer: Verfahren zur Bestimmung der Dampfdichte oberhalb 440° siedender Körper, sowie solcher Substanzen, welche Quecksilber oder Wood'sches Metall angreifen. Daselbst 1878, 11. Jahrg., p. 2253 (mit 2 Abbildungen), zu vergl. auch V. Meyer's vorläufige Notiz daselbst in demselben Jahrgang, p. 1867.

V. Meyer (3): Notiz über Dampfdichtebestimmung (mit Abbildung des Rinnentiegels). Daselbst 1886, Jahrg. 19, p. 1861.

Derselbe (4) und C. Meyer: Bestimmung der Dampfdichte einiger unorganischer Körper bei sehr hoher Temperatur. Daselbst 1879, Jahrg. 12, p. 1112. (Abbildung des Perrot'schen Gasofens mit Wiesneg'scher Muffel).

Derselbe (5) und G. G. Pond: Physikalisch-chemische Untersuchungen I. Daselbst 1885, Jahrg. 18, p. 1623 (mit Abbildung von Mahlmann's Fallvorrichtung für den Dampfdichtebestimmungsapparat).

Derselbe und M. von Recklinghausen: Vorarbeiten zu einer Untersuchung über Dampfdichtebestimmung bei extremen Hitzegraden. Daselbst 1897, Jahrg. 30, p. 1926. (Mit Abbildung der aus Magnesit von Veitsch in Steyermark und kaltgesättigter Chlormagnesiumlösung hergestellten „Dampfdichtebirne".)

M. M. P. Muir und S. Sugiura: On a slight modification of Hofmann's Vapour-density Apparatus. Journ. of the chemic. Society 1877, Vol. II, p. 140.

J. Natanson: Modifikation der Gay-Lussac'schen Dampfdichte-Bestimmungsmethode bei hohem Siedepunkt. Annalen der Chemie und Pharm. 1856, Bd. 98, p. 301.

L. F. Nilson und O. Pettersson: Die Molekulargrösse des Aluminiumchlorids. Zeitschrift f. pkysik. Chem. 1889, Bd. 4, p. 206.

L. Pfaundler: Bemerkungen zu Landolt's Bestimmung des Molekulargewichts aus dem Dampfvolumen nebst Vorschlägen zu einer Modifikation des

Apparates von Grabowski zur Bestimmung der Dampfdichte. Berichte d. deutsch. chem. Ges. 1872, Jahrg. 5, p. 575.

Th. W. Richards: Victor Meyer's vapour density method modified for use under diminished pressure. Chemic. News 1889, Vol. 59, p. 39.

Derselbe: A method of vapour density determination. Daselbst, p. 87.

C. Schall: Zur Dampfdichtebestimmung unter vermindertem Druck (mit Abbildung). Berichte der deutsch. chem. Ges. 1889, Jahrg. 22, p. 140.

Derselbe: Erweiterung der letzten Abhandlung betr. Dichtebestimmung (mit 1 Abbildung). Daselbst 1890, Jahrg. 23, p. 919.

J. Traube: Physikalisch-chem. Methoden 1893, p. 34.

Th. Wertheim: Beiträge zur Kenntniss des Coniins. Annal. der Chem. u. Pharm., Bd. 123, p. 173 und Bd. 130, p. 269.

Derselbe: Beiträge zur Kenntniss des Piperidins. Daselbst, Bd. 127, p. 81.

H. Wichelhaus: Ueber eine veränderte Form des Hofmann'schen Dampfdichte-Apparates (mit Abbildung). Berichte d. deutsch. chem. Ges. 1870, Jahrg. 3, p. 166.

Vierunddreissigstes Kapitel.

Der Schall als besondere Form der mechanischen Energie.

Bevor wir an die Besprechung der uns in diesem und den nächsten Kapiteln beschäftigenden Energieform herantreten, wollen wir dem Bau und den Verrichtungen unseres Nervensystems, des Vermittlers aller energetischen Vorgänge im Organismus, einige Betrachtungen widmen.

I. Exkurs über den Bau und die Verrichtungen des Nervensystems.

Exkurs über den Bau und die Verrichtungen des Nervensystems.

Alle Energievorgänge in der Aussenwelt, welche als Reize irgend welcher Art auf unseren Körper einwirken, bringen in demselben gleichfalls energetische Vorgänge zur Auslösung, d. h. der Körper antwortet auf die empfangenen Reize mit einer ihm eigenthümlichen Leistung. Das Energidensystem unseres Körpers, welches den Energieverkehr mit der Aussenwelt vermittelt, ist der Nervenapparat. Die Empfangsstationen, welche derselbe zur Aufnahme der Reize besitzt, sind mehr oder weniger verwickelt gebaute Mecha-

nismen, die als Sinneswerkzeuge bezeichnet werden. Eine allgemeine Bekanntschaft mit der Einrichtung des Nervensystems und der Sinneswerkzeuge ist für das Verständniss der Beziehungen, welche zwischen den energetischen Vorgängen in der Aussenwelt und in unserem Inneren bestehen, unerlässlich. — Es mag zunächst erwähnt werden, dass jede Thätigkeit, welche die einzelnen Organe unseres Körpers entfalten, unter der Herrschaft des Nervensystems steht. Dasselbe regelt die Ernährung, den Stoffwechsel und die Drüsensekretion, und wie es auf diese Weise die Erhaltung des Individuums bedingt, so vermittelt und sichert es auch die davon abhängige Fortpflanzung des Individuums, d. h. den Fortbestand der Art.

Das Nervensystem steht aber auch zu allen psychischen Vorgängen, zu jenem Bilde, welches wir von der Welt in uns tragen, in innigster Beziehung.

Alle Freude und jeder Genuss, alles Leid und jeder Schmerz gelangen nur mit Hülfe des Nervensystems zu unserem Bewusstsein, ja dem letzteren selbst liegen zweifelsohne energetische Vorgänge zu Grunde. Alle Stufen geistiger Entwickelung, alle kulturellen Fortschritte, alle ethischen Erscheinungen, alle Tiefen der Leidenschaft und alle Höhen genialen Geistesfluges sind auf die Thätigkeit des Nervensystems zurückzuführen. Das Wesen des phylogenetisch im Kampfe ums Dasein erworbenen Denkprozesses ist uns unbekannt, wir wissen nur, dass hierzu ein Aufwand von Nervenenergie erforderlich ist, und dass es dazu einer Transformation von Energievorgängen bedarf. Wir wissen nur, dass Gedanken ausschliesslich im Gehirn gebildet werden und dass sie nicht gelegentlich im Magen oder im Monde sind, wie es Paulsen (Einleitung in die Philosophie, Berlin, W. Hertz, 1893, 2. Aufl., p. 137) für möglich hält. Jede Bemühung und Hoffnung, die Entstehung der Gedanken unabhängig von der anatomischen und physiologischen Beschaffenheit des Gehirns zu ergründen, muss als erfolglos bezeichnet werden, wenn die philosophische Psychologie entgegen der physiologischen Psychologie dies auch bezweifeln sollte.

Animales und vegetatives Nervensystem.

Marie François Xavier Bichat, geb. 11. Nov. 1771 in Thoirette en Bresse (Dép. Jura), Arzt und Lehrer der Med. am Hôtel-Dieu in Paris, gest. 22. Juli 1802 in Paris.

Unser Nervensystem besteht aus zwei Hauptabschnitten, die, seit Bichat, als animaler und vegetativer Theil bezeichnet werden. Der animale Theil umfasst das Gehirn und Rückenmark und die daraus entspringenden resp. dort endigenden Nerven. Dieser Teil ist hauptsächlich das Organ der Psyche und der Sitz der Willensimpulse, welch' letztere er auf das mit ihm zusammenhängende willkürliche Muskelsystem überträgt. Der vegetative Theil umfasst den sogenannten Sympathicus und regelt vorzugs-

weise die Funktionen der Ernährung und Absonderung, wie auch die Bezeichnung vegetativ andeutet.

Streng genommen ist jedoch diese Bezeichnung nicht völlig zutreffend; denn einestheils gehen Ernährungsvorgänge auch in nervenlosen Gebilden (Krystalllinse des Auges, Horngewebe) vor sich, anderntheils giebt es Organe, in welchen Ernährung und Absonderung nicht unter dem Einflusse des vegetativen, sondern des animalen Systems stehen (Milchdrüse [zu vergl. p. 235], Synovialmembran [zu vergl. Bd. I, p. 127], Haut [zu vergl. Bd. I, p. 480]).

Centrales und peripheres Nervensystem.

An jedem der beiden Systeme kann ein centraler und ein peripherischer Abschnitt unterschieden werden. Der centrale Abschnitt des animalen Systems wird von dem in der Schädelkapsel gelegenen Gehirn und dem den Wirbelkanal durchziehenden Rückenmark gebildet. Zwischen beiden liegt das sogenannte verlängerte Mark (Medulla oblongata).

Das Gehirn setzt sich entwickelungsgeschichtlich aus dem Vorder-, Zwischen-, Mittel-, Hinter- und Nachhirn zusammen (Fig. 284), die in ihrem Inneren miteinander in Verbindung stehende Hohlräume (Hirnventrikel) besitzen.

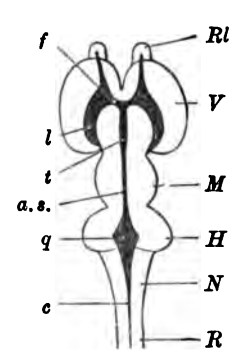


Fig. 284. Schema der einzelnen Gehirnabschnitte in genetischer Hinsicht und des Zusammenhanges ihrer Binnenräume (nach Gegenbaur). *Rl* Riechlappen (Lobus olfactorius), *V* Vorderhirn (Grosshirn), *M* Mittelhirn, *H* Hinterhirn (Cerebellum), *N* Nachhirn (Medulla oblongata), *R* Rückenmark (Medulla spinosa), *f* Foramen Monroi, *l* Seitenventrikel (Ventriculus lateralis), *t* Dritter Ventrikel (V. tertius), *a. s.* Sylvi'sche Wasserleitung (Aquaeductus Sylvii), *q* Vierter Ventrikel oder Rautengrube (V. quartus), *c* Centralkanal (Canalis centralis).

Am ausgebildeten Gehirn (Fig. 285 p. 310) unterscheidet man die beiden Grosshirnhemisphären, das Stammhirn, das Mittelhirn und den Hirnstamm. Genetisch gehört das zwischen Rückenmark und Gehirn sich einschiebende verlängerte Mark (Medulla oblongata, Fig. 284 *N*, Fig. 285 *m o*) dem Gehirne an (Nachhirn), ja bei niederen Wirbelthieren bildet es den relativ bedeutendsten Theil des gesammten Gehirns. Die beiden Hemisphären, von denen in dem Medianschnitt, wie ihn Fig. 285 zeigt, die rechtsseitige (*G H*) gezeichnet ist, werden durch den sogenannten Balken (Corpus callosum) *a* miteinander verbunden. Jede Hemisphäre besteht aus einem Stirn-, Scheitel-, Schläfen- und Hinterhauptslappen. Im Stamhirn finden sich zwei paarig vorhandene sogenannte Stammganglien: Der Streifenhügel (Corpus striatum) (in Fig. 285 nicht sichtbar) und der Sehhügel *b*(Thalamus opticus) im Mittelhirn liegt die Vierhügelmasse *c* (Corpora quadrigemina).

Costanzo Varolio, geb. 1543 in Bologna, Prof. der Anat. u. Chir. daselbst u. in Rom, Leibarzt Gregors XIII., gest. 1575 in Rom.

Der Hirnstamm umfasst das Kleinhirn *KH* (Cerebellum), die Varolsbrücke *e* (Pons Varoli) und die Hirnstiele *d* (Pedunculi cerebri), welche in das verlängerte Mark *m o* übergehen. Vom Kleinhirn *K H* verlaufen starke Ver-

bindungsstränge zur Brücke (Brückenarme), zum verlängerten Mark (untere Kleinhirnstiele, Corpora restiformia [lat. restis das Seil]) und zum Grosshirn (obere Kleinhirnstiele oder Bindearme, Fig. 285 *o*). Letztere fassen den vorderen Abschnitt des im verlängerten Mark gelegenen vierten

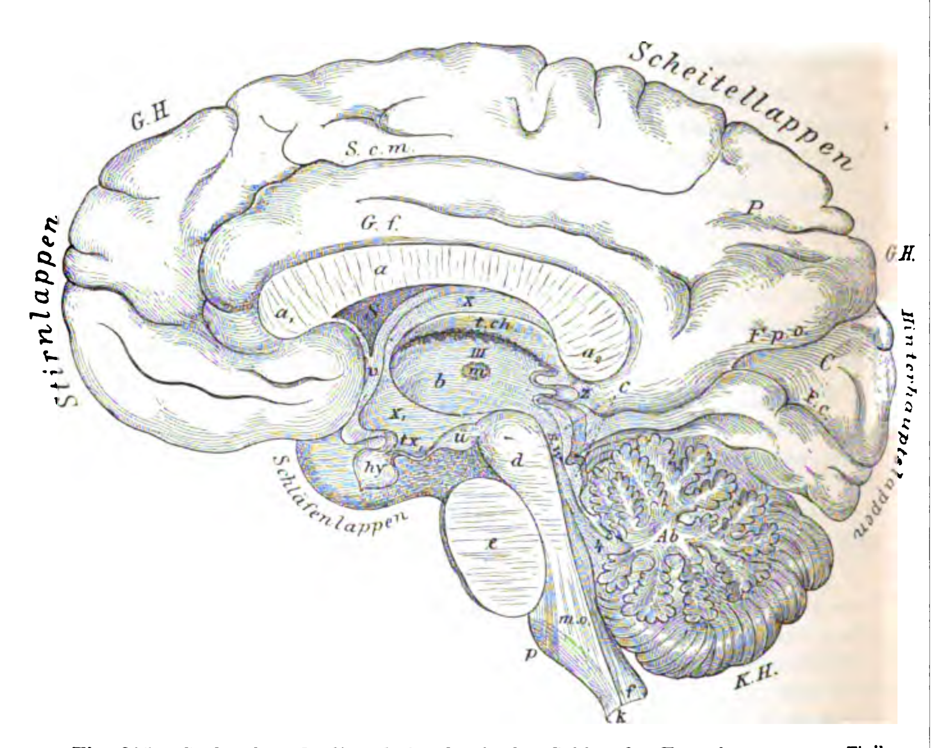


Fig. 285. Senkrechter Medianschnitt durch das Gehirn des Erwachsenen, zum Theil schematisch. *m. o.* Verlängertes Mark; *a* Balken, a_1 dessen Knie (genu), a_2 dessen Wulst (splenium); *G. H.* rechte Grosshirnhemisphäre mit Stirn-, Scheitel-, Hinterhaupts- und Schläfenlappen; *K. H.* Kleinhhirn; *b* Sehhügel; *c* Vierhügel; *e* Varolsbrücke; *d* Hirnstiele (Pedunculi cerebri); *o* sogenannte Vierhügelschenkel des Kleinhirns (Bindearme); *f* Goll'scher Strang; *k* Centralkanal; *A. b.* Arbor vitae, verzweigte Lamellen weisser Substanz mit grauem Belag; *p* Pyramide; *F. c.* Fissura calcarina; *F. p. o.* Fissura parieto-occipitalis; *G. f.* Gyrus fornicatus; *S. c. m.* Sulcus calloso-marginalis; *C* Cuneus; *P* Praecuneus; *S* Septum pellucidum; *x* Gewölbe (Fornix), x_1 vorderer Schenkel desselben; *t. ch.* Tela chorioidea superior; *III* Gegend des dritten Hirnventrikels; *v* vordere Kommissur; *m* mittlere Kommissur; *hy* Hirnanhang; *u* Markhügel; *Z* Zirbel; *t* Trichter (Infundibulum); *s. w.* Sylvi'sche Wasserleitung (Aquaeductus Sylvii).

Ventrikels (Rautengrube, Fig. 285, 4) zwischen sich, um sich dann unter der Vierhügelmasse einzusenken. Wegen des scheinbaren Zusammenhanges damit heissen sie auch Vierhügelschenkel.

Schutzapparate des Nervensystems.

Die animalen Centralorgane (Gehirn und Rückenmark) werden ausser von ihrem knöchernen Gehäuse noch durch drei bindegewebige Hüllen geschützt. Die äusserste, der Knochenwand angelagerte Hülle ist dick und derbe und heisst harte oder fibröse Hirnhaut (Dura mater). Die darauffolgende Hülle wird wegen ihres zarten Gewebes Spinnenwebenhaut (Arachnoidea vom gr. ἡ ἀράχνη die Spinne) genannt. Die innerste Hülle endlich, welche der Oberfläche des Gehirns und Rückenmarkes anliegt, sich bis in das Innere beider fortsetzt und sehr zahlreiche Blutgefässe besitzt, heisst weiche Hirnhaut (Pia mater).

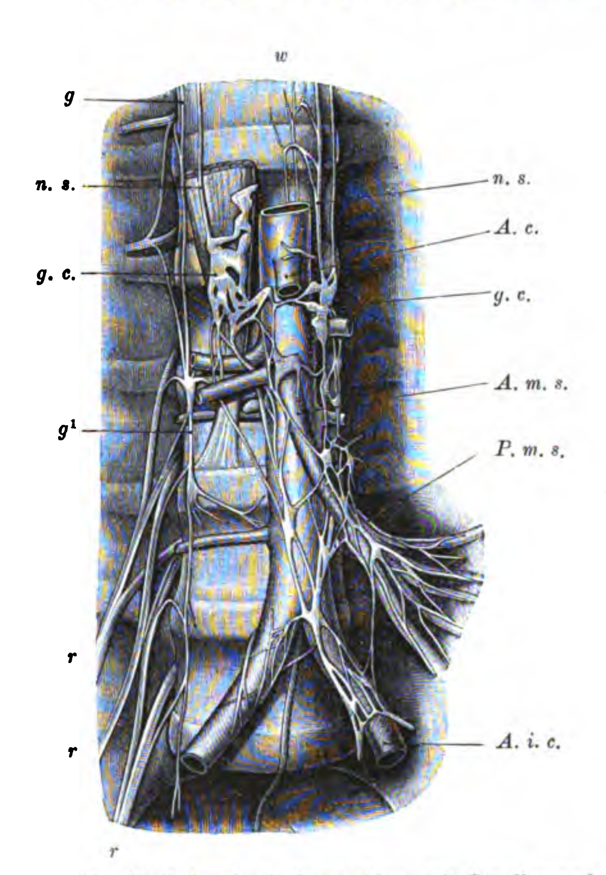


Fig. 286. Theil des Bauch-Sympathicus mit Ganglien und Nervengeflechten (nach Gegenbaur). *g g*¹ Grenzstrang, *g*¹ lumbaler Theil desselben, *g. c.* Ganglia coeliaca, gelegentlich zu einer Masse vereinigt (Ganglion solare); *P. m. s.* Plexus mesentericus superior; *n. s.* Nervus splanchnicus major; *A. c.* Arteria coeliaca; *A. m. s.* Arteria mesenterica superior; *A. i. c.* Arteria iliaca communis; *w* Wirbelsäule; *r* Rückenmarksnerven.

Der peripherische Abschnitt des animalen Systems umfasst die aus dem Gehirn und Rückenmark entspringenden, vielfach verästelten Nervenstränge, welche in die verschiedenen Organe des Körpers eindringen und ihren Zusammenhang mit den Centren vermitteln. Das gesammte animale Nervensystem wird auch Cerebrospinalsystem genannt.

Der Centraltheil des Sympathicus besteht aus vielen knotenförmigen Verdickungen (Fig. 286), sog. Ganglien (gr. τὸ γάγγλιον, bei Hippokrates für eine Geschwulst an Gelenken [Ueberbein], bei Galen [de usu partium lib. XVI cap. 5: de nervis viscerum et intestinorum; Editio Basiliensis 1551, p. 433; griech.-lat. Ausgabe von F. Kühn Lips. 1822, Vol. 4, p. 291] für

Nervenknoten gebraucht), welche sich in zwei Strängen (Knoten- oder Grenzsträngen, bestehend aus Hals-, Brust-, Lenden- und Kreuztheil) längs der Vorderseite der Wirbelsäule vom ersten Halswirbel bis zum Steissbein erstrecken (zu vergl. Fig. 286 p. 311). Sein peripherischer Theil setzt sich aus Nervengeflechten zusammen, die aus den Ganglien entspringen und zu den verschiedensten Organen des Kopfes und Halses, sowie der Brust-, Bauch- und Beckenhöhle gelangen (zu vergl. Fig. 286 p. 311). Ausserdem sind noch peripherische, sogenannte Parenchymganglien vorhanden, welche in der Gewebesubstanz mancher Organe (Herz, Darm, Uterus etc.) eingebettet sind. Ebensowenig wie eine strenge physiologische Sonderung zwischen den beiden Systemen besteht, sind sie auch anatomisch von einander nicht getrennt. Sympathische Nerven vereinigen sich also vielfach mit cerebrospinalen Nerven (Rami communicantes), wie die Bezeichnung sympathisch (gr. συμπαθέω ich fühle, empfinde mit) besagen soll. Es ist jedoch zu betonen, dass das cerebrospinale System seine Thätigkeiten einstellen kann, wie im Schlaf, in der Ohnmacht, nach Schlaganfällen, ja dass es sogar Missbildungen aufweisen und operative Eingriffe vertragen kann, ohne dass die Funktionen des Sympathicus beeinträchtigt werden.

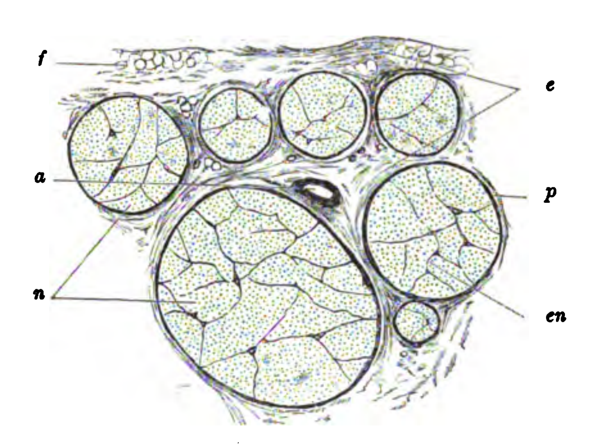


Fig. 287. Querschnitt durch einen Nerven des Armes (Nervus medianus), 20mal vergrössert, nach Stöhr. *e* Epineurium, häufig Fettzellen *f* einschliessend; *p* Perineurium; *n* Querschnitte von Nervenfaserbündeln; *en* Endoneurium; *a* querdurchschnittene, im Bindegewebe verlaufende Arterie.

Charles Bell, geb. im Nov. 1774 in Edinburgh, längere Zeit Arzt in London, seit 1836 Prof. der Chirurgie in Edinburgh, gest. 28. April 1842 daselbst (zu vergl. Letters of Sir Charles Bell, hersg. von seiner Frau, London 1870).

Aus dem Gehirn nebst dem verlängerten Mark nehmen zwölf Nervenpaare, einige mit mehreren Wurzeln, ihren Ursprung, aus dem Rückenmarke entspringen einunddreissig Nervenpaare, jedes mit einer vorderen oder ventralen in funktioneller Hinsicht motorischen (Bell 1811) und einer hinteren oder dorsalen in funktioneller Hinsicht sensiblen (Bell 1811) Wurzel (Fig. 291 p. 320). Die letztere schwillt zu einem sogenannten Spinalganglion (Ganglion interverte-

brale, Fig. 291 *sp*) an. Auch an einigen Gehirnnerven, namentlich an dem sogenannten dreitheiligen Nerven (Nervus trigeminus) kommen Ganglien vor.

Beim Austritte durch das betreffende Loch der Schädelknochen, beziehungsweise des Rückgrates, sowie beim Durchtritte durch die Dura mater, erhalten die cylindrischen oder abgeplatteten Nervenstränge eine von den Umhüllungen der Centren auf sie übergehende Scheide aus Bindegewebe und elastischen Fasern, welche die Nervenstränge als Epineurium (gr. ἐπί darüber und τὸ νεῦρον der Nerv), Fig. 287 *e*, auf ihrem Verlaufe begleitet. Jeder Nervenstrang besteht aus einer Anzahl sekundärer Nervenbündel, die von einem aus platten Zellen gebildeten Bindegewebshäutchen (Perineurium, Fig. 287 *p*) und den Fortsetzungen des faserigen Epineurium umfasst werden. Jedes Sekundärbündel setzt sich aus zahlreichen Nervenfaserbündeln zusammen (Fig. 287 *n*), welche zwischen feinen vom Perineurium ausgehenden und als Endoneurium bezeichneten Septen verlaufen. (Zu vergl. Fig. 287 *en*.)

Auch einzelne Nervenfasern können von einer bindegewebigen Scheide (Schwann'sche Scheide oder Neurilemm [gr. τὸ νεῦρον und τὸ λέμμα, die Schale, Scheide]) umhüllt sein (Fig. 290 p. 318). Verzweigungen kommen an den peripherischen Nervenfasern, ausgenommen an ihrem Ende (Fig. 290), nicht vor, wohl aber zweigt sich nicht selten eine verschieden grosse Zahl von Fasern von einem Bündel ab, um in ein anderes Bündel überzugehen. Bindegewebige Umhüllungen finden sich auch an den Elementen des Sympathicus.

Tabellarisch lässt sich die Eintheilung des Nervensystems folgendermaassen geben:

Nervensystem			
Animales oder cerebrospinales Nervensystem		Vegetatives oder sympathisches Nervensystem	
Centraler Abschnitt	Periph. Abschnitt	Centraler Abschnitt	Periph. Abschnitt
Gehirn u. Rückenmark	Gehirn- u. Rückenmarksnerven u. die damit in Zusammenhang stehenden Ganglien	Hauptstrang u. Ganglienknoten des Sympathicus	Nervengeflechte u. Parenchymganglien des Sympathicus

Einiges über die Struktur des Rückenmarkes.

Wenn man einen Schnitt durch das Gehirn oder das Rückenmark legt, so findet man, dass die Schnittfläche nicht überall das gleiche Aussehen besitzt. Im Rückenmarke wird der innere Theil von grauer Substanz (Substantia cinerea s. grisea), der äussere Theil von weisser Substanz (Substantia alba) gebildet (Fig. 288 p. 314 u. Fig. 291 p. 320).

Am mächtigsten ist die graue Substanz in der sogenannten Hals- und Lendenanschwellung und in dem unter letzterer gelegenen Endkegel (Conus terminalis) entwickelt.

Die weisse Substanz wird durch einen vorderen Längsspalt (Fissura mediana anterior, Fig. 288 *a*, Fig. 291) und ein hinteres Septum der

weichen Rückenmarkshaut (Fig. 288*b*, Fig. 291) unvollständig in eine rechte und linke Hälfte getheilt. Am Grunde des Längsspaltes befindet sich eine die beiden Rückenmarkshälften verbindende Brücke aus weisser Substanz (Commissura alba, Fig. 288*q*). Die vorderen (ventralen, Fig. 288*h*) und hinteren (dorsalen, Fig. 288*i*) Wurzelfasern der Rückenmarksnerven trennen die weisse Substanz in mehrere Abschnitte, die als Vorder-, Seiten- und Hinterstrang (Fig. 288*c*, *d*, *e* u.

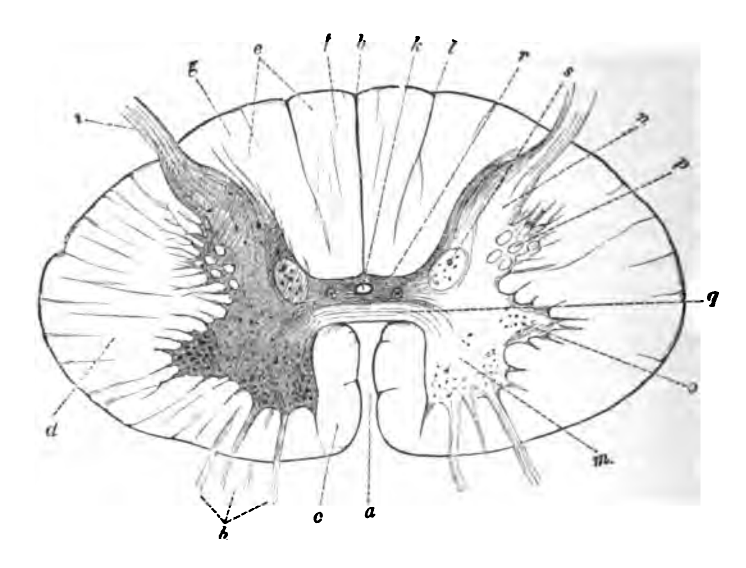


Fig. 288. Halbschematischer Querschnitt durch das Rückenmark nach Erb. Zu innerst die graue Substanz, auf dem Querschnitt H-förmig, zu äusserst die weisse Substanz. *a* Vorderer Längsspalt, *b* hinteres Septum; *q* weisse Kommissur (Commissura alba); *h* vordere (ventrale) Nervenwurzeln; *i* hintere (dorsale) Nervenwurzeln; *c* Vorderstrang, *d* Seitenstrang, *e* Hinterstrang; *f* Funiculus gracilis; *g* Funiculus cuneatus; *l* der beide trennende Sulcus intermedius; *r* Commissura grisea, nach ihrer Lage zum Centralkanal *k* als vordere und hintere graue Kommissur unterschieden; *m* Vorderhorn der grauen Substanz, *n* Hinterhorn, *o* Seitenhorn derselben; *p* Formatio reticularis; *s* Clarke'sche Säule.

Fig. 291) bezeichnet werden. Im unteren Hals- und oberen Brusttheil des Rückenmarkes zerfällt der linke und rechte Hinterstrang in zwei kleinere Stränge, einen dem Septum anliegenden zarten Strang (Funiculus gracilis von Goll, Fig. 285 u. 288*f*) und einen lateral von diesem gelegenen Keilstrang (Funiculus cuneatus von Burdach, Fig. 288*g*). — Die graue Substanz erscheint auf dem Querschnitte etwa wie ein **H**. In der schmalen Verbindungsbrücke (Commissura grisea, Fig. 288*r*) der beiden mächtig entwickelten seitlichen Abschnitte (Säulen) sieht man den Durchschnitt

Ernst Burdach, geb. 25. Febr. 1801 in Leipzig, Prof. der Anat. in Königsberg, gest. 10. Okt. 1876 in Königsberg.

eines das Rückenmark der ganzen Länge nach durchziehenden Kanales (Centralkanal, Fig. 285 u. 288 *k*, Fig. 291). An jeder Säule unterscheidet man einen dickeren vorderen (ventralen) Abschnitt (Vordersäule oder Vorderhorn, Fig. 288*m*, Fig. 291) und einen dünneren hinteren (dorsalen) Abschnitt (Hintersäule oder Hinterhorn, Fig. 288*n*, Fig. 291). An der äusseren Seite jeder Vordersäule befindet sich im oberen Brusttheile des Rückenmarkes ein Gebiet, welches Seitensäule oder Seitenhorn (Fig. 288*o*) genannt wird. Aus dem vorderen (ventralen) Abschnitt der Vordersäulen entspringen die vorderen (ventralen) motorischen Wurzelfasern (Fig. 288*h*, Fig. 291) der Rückenmarksnerven, in den hinteren (dorsalen) Abschnitt der Hintersäulen treten die hinteren (dorsalen) sensiblen Wurzelfasern (Fig. 288*i*, Fig. 291) der Rückenmarksnerven ein.

Seitlich an der Basis der Hintersäulen erscheint die graue Substanz netzförmig (Formatio reticularis, Fig. 288 *p*). Medialwärts gegen das Septum zu, nahe bei der grauen Kommissur, liegt in den Hintersäulen die sogenannte Clarke'sche Säule (Dorsalkern oder Respirationskern, Columna vesicularis), die namentlich im Brust- und Lendentheil des Rückenmarkes deutlich hervortritt (Fig. 288 *s*). Am hinteren Gebiet der Hintersäulen (in Fig. 288 nicht deutlich hervorgehoben) unterscheidet man folgeweise von innen nach aussen eine gallertartige Masse (Substantia gelatinosa Rolandi), einen spongiösen Theil (Zona spongiosa) und eine aus feinen Nervenfasern gebildete Randzone (Zona terminalis). — Von der gesammten Peripherie der grauen Substanz strahlen gröbere oder feinere Fortsätze — Septula medullaria — in die weisse Substanz hinein (Fig. 288).

Jacob Augustus Lockhart Clarke, geb. 1817 wo? Nervenarzt in Pimlico und London, gest. 25. Jan. 1880 in London (zu vergl. Lancet, Medic. Times, and British medic. Journ. 31. Jan. 1880).

Luigi Rolando, geb. 20. Jan. 1773 in Turin, zuletzt Prof. der Anat daselbst, gest. 20. April 1831 daselbst.

Einiges über die Struktur des Gehirns.

Auch im Gehirn finden sich die graue und weisse Substanz, ihre Vertheilung aber ist eine viel mannigfaltigere als im Rückenmarke. Eine graue Rinde, die Sphäre der „inneren Sinne" und höheren geistigen Vorgänge, umschliesst eine weisse Markmasse, die jedoch von grauen Kernen: den Stammganglien (Vierhügel, Sehhügel im Grosshirn, Nucleus dentatus im Kleinhirn) durchsetzt wird. Um die im Inneren des Gehirns befindlichen verschieden gestalteten, mit einander und mit dem Centralkanal des Rückenmarkes in Verbindung stehenden Ventrikel der Hirnhöhlen (Fig. 284 u. 285) bildet die graue Substanz einen Belag, das sogenannte Höhlengrau, welches eine direkte Fortsetzung der um den Centralkanal des Rückenmarkes gelegenen grauen Substanz ist. Rindengrau und Höhlengrau bezw. Stammhirn werden durch den Stabkranz (Corona radiata) verbunden, welcher aus weissen Fasern (Projektionsfasern) besteht, die gegen das Stammhirn zu konvergent verlaufen. An der Oberfläche des Gehirns betheiligt sich das Rindengrau mit der darunter gelegenen Markmasse an der Bildung eigenthümlicher wulstförmiger Hervorragungen (Gyri), die durch mehr oder weniger tiefe Furchen (Sulci)

und Spalten (Fissurae) von einander getrennt werden (Fig. 285 u. 292 p. 325). Am Grosshirn verlaufen beide vielfach gewunden nach allen Richtungen, am Kleinhirn (Fig. 285) sind sie einander parallel und bogenförmig gekrümmt. In die Furchen dringt die weiche Hirnhaut mit ihren Blutgefässen ein.

Die im Verlaufe der peripheren Nerven eingeschalteten Ganglienknoten bestehen auch aus grauer und weisser Substanz, die Nervenstämme dagegen nur aus letzterer.

Mikroskopischer Bau d. Nervensystems.

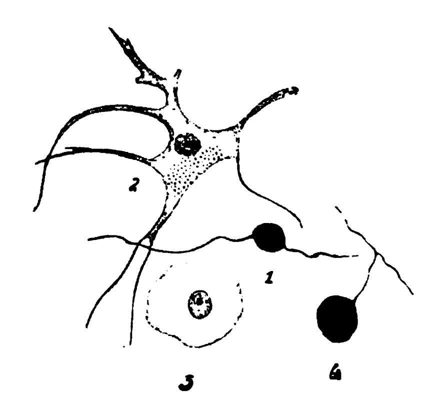


Fig. 289. Verschiedene Formen von Nerven- oder Ganglienzellen. *1* Bipolare Ganglienzelle aus dem Ganglion des Hörnerven eines Rattenembryo; *2* multipolare Ganglienzelle aus dem Rückenmarke des Menschen mit fibrillärer Struktur, bläschenförmigem Kern, Körnereinschlüssen, Dendriten und Nervenfortsatz; *3* Zelle aus dem Ganglion Gasseri (Mensch), der Nervenfortsatz ist abgerissen; *4* Spinalganglienzelle mit T-faser.

Nervenzellen u. Nervenfasern.

Die Verschiedenheit der beiden genannten Substanzen wird bedingt durch ihren mikroskopischen Bau, über den man orientirt sein muss, um die Funktionen des Nervensystems zu verstehen. Im mikroskopischen Bilde findet man, dass die graue Substanz sich aus zahlreichen Zellen, den sogenannten Nerven- oder Ganglienzellen (Fig. 289) und aus Nervenfasern aufbaut, während die weisse Substanz nur aus Fasern besteht (zu vergl. Bd. I, p. 202). Im Verlaufe peripherischer, cerebrospinaler und sympathischer Nerven, sowie in Sinnesorganen finden sich ebenfalls Nervenzellen.

In früher Zeit des embryonalen Lebens setzt sich das Nervengewebe nur aus rundlichen Zellen zusammen. Allmählich verändert sich die Gestalt eines Theiles dieser Zellen (Neuroblasten), sie werden zu den eigentlichen Nerven- oder Ganglienzellen. Ihr hüllenloser Leib — nur in den peripherischen Ganglien und in den Sympathicusganglien besitzen die Zellen eine Bindegewebshülle — zeigt eine fibrilläre Struktur, schliesst häufig gelbbraune Körner als Stoffwechselprodukte und einen bläschenförmigen, an chromatischer Substanz (zu vergl. Bd. I, p. 213) armen Kern ein (Fig. 289, *2* u. *3* und Fig. 290 p. 318).

An einer Stelle des Zellenleibes wächst ein Fortsatz von hyalinem glattrandigem Aussehen, der sogenannte Nervenfortsatz, hervor (Fig. 289, *2* u. Fig. 290), der während der embryonalen Entwickelung unter räthselhafter Führung an seinen Bestimmungsort gelangt, wo er vielfach getheilt (Endverästelung, Fig. 290) mit feinen Spitzen oder mit knopfförmigen Anschwellungen (Terminalkörperchen) endet.

Einige Ganglienzellen, die sogenannten Cajal'schen Zellen der Hirnrinde sollen mehrere Nervenfortsätze besitzen. Ramon y Cajal hat neuerdings „Studien über die Hirnrinde des Menschen" veröffentlicht; ins Deutsche übersetzt wurden dieselben durch J. Bresler, Verlag von J. A. Barth, Leipzig 1900.

Ausser dem Nervenfortsatze haben die Ganglienzellen noch eigenthümliche Ausläufer, die Protoplasmafortsätze heissen. Sie sind dicker als der Nervenfortsatz, nicht glattrandig und zeigen ebenfalls eine fibrilläre Streifung (Fig. 289 u. 290). Man nennt sie wegen ihrer baumförmigen Verästelungen auch Dendriten (gr. τὸ δένδρον, der Baum). Aus einigen Nervenzellen (Spinalganglienzellen von niederen Wirbelthieren und Embryonen) entspringt an zwei einander gegenüber liegenden Stellen je ein Fortsatz (Fig. 289, *1*), der zu einer Nervenfaser wird, derjenige dieser beiden Fortsätze aber, welcher peripherisch verläuft, entspricht dann einem Dendriten. Zellen von dieser Beschaffenheit heissen bipolare Ganglienzellen. Ganglienzellen mit zahlreichen Protoplasmafortsätzen (Fig. 289, *2* u. 290) nennt man multipolar.

Es giebt auch unipolare Ganglienzellen, sie besitzen nur einen Fortsatz (Zellen der Riechschleimhaut). Manche scheinbar unipolare Ganglienzellen sind indessen entwickelungsgeschichtlich doch als bipolare Zellen aufzufassen. Im Verlaufe der Entwickelung aber nähern sich durch eigenthümliche Wachsthumsverhältnisse die Ursprungsstellen der beiden Fortsätze und verschmelzen miteinander zu einem stielartigen Stück, von welchem alsdann die beiden Fortsätze divergirend verlaufen (Nervenzellen der Spinalganglien der höheren Thiere). (Fig. 289, *4*.)

Aus dem Nervenfortsatze der Ganglienzellen können seitliche Aeste, sogenannte Collateralen, hervorwachsen (Fig. 290 und Fig. 291 p. 318 bezw. 319).

In Bezug auf die Beschaffenheit und das Verhalten von Nervenfortsätzen, die zu Nervenfasern werden, hat man zwei Typen von Ganglienzellen: Deiters'sche und Golgi'sche Zellen unterschieden.

Der Nervenfortsatz der Deiters'schen Zellen verlässt die graue Substanz, giebt eine Anzahl Collateralen ab und durchzieht die weisse Substanz über kürzere oder längere Strecken. Der Nervenfortsatz der Golgi'schen Zellen löst sich schon in der Nähe der Zelle, noch innerhalb der grauen Substanz, unter fortwährender Theilung in ein feines Netzwerk auf. — Es giebt Nervenfortsätze, die sammt ihren Collateralen in ihrem ganzen Verlaufe oder auf einzelnen Strecken nackt bleiben (Fig. 290 *a*); es giebt aber auch solche, die nebst ihren Collateralen von Hüllen umgeben werden. Zur Bildung dieser Hüllen trägt theils die nervöse Substanz — man spricht dann von einer Markscheide (Myelinscheide, Fig. 290) — theils das Bindegewebe bei — man redet dann von einem Neurilemm oder einer Schwann'schen Scheide (Fig. 290). Von diesen Hüllen kann nur die Markscheide (Fig. 290 *c*), die völlig strukturlos zu sein scheint, oder nur das Neurilemm vorhanden sein (Fig. 290 *b*), es können aber auch beide auftreten; im letzteren Falle ist das Neurilemm die äussere Hülle (Fig. 290 *d*). Je nach dem Vorhandensein oder Fehlen der Markscheide unterscheidet

Otto Friedrich Karl Deiters, geb. 15. Nov. 1834 in Bonn, Docent daselbst, gest. 5. Dez. 1863 am Typhus daselbst.

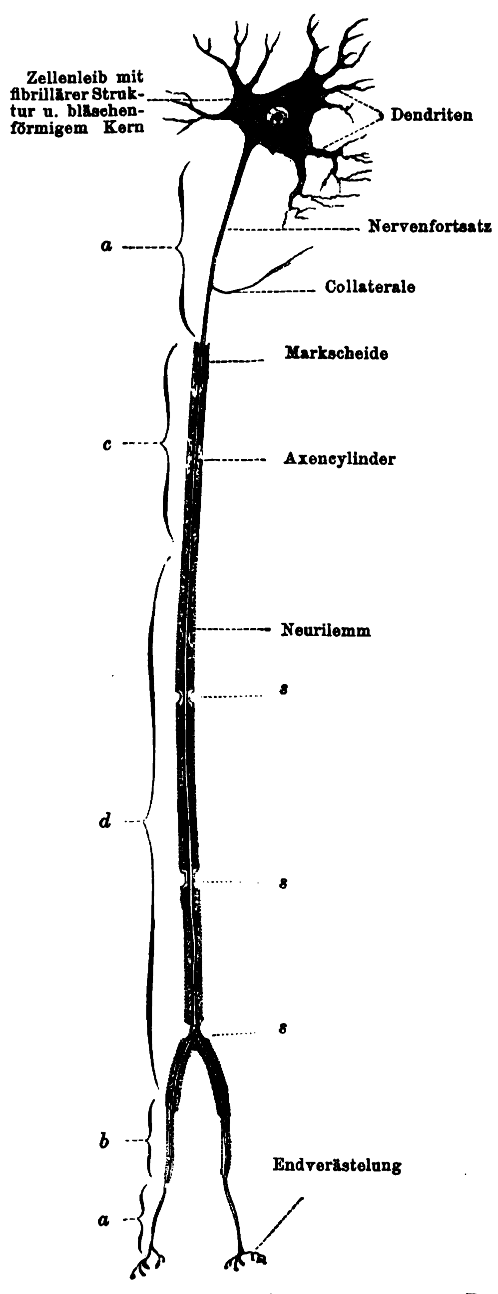


Fig. 290. Schematische Darstellung eines Neuron. Der Nervenfortsatz der Zelle erscheint bei *a* nackt, bei *b* nur von Neurilemm, bei *c* nur von der Markscheide und bei *d* von der Markscheide und dem Neurilemm umhüllt; *s* Schnürringe, zwischen ihnen interannuläre Segmente.

Robert Remak, geb. 26. Juli 1815 in Posen, Docent in Berlin (1847), gest 29. Aug. 1865 in Kissingen.

man markhaltige und marklose Nervenfasern. Der Nervenfortsatz nimmt in beiden Fasern stets die Längsaxe ein und führt deshalb auch den Namen Axencylinder oder Axon. Marklose Fasern, die auch des Neurilemms entbehren, bestehen also nur aus dem Axencylinder. Solche nackte Axencylinder finden sich zu Bündeln vereinigt im Riechnerven.

Marklose Nervenfasern mit (unvollkommenem) Neurilemm, finden sich in dem Gebiete des Sympathicus. Während diese Nervenelemente — auch graue oder Remaksche Fasern genannt — das geschilderte Verhalten in ihrem ganzen Verlaufe zeigen, giebt es andere Nervenfasern, die nur stellenweise, beim Ursprung aus der Ganglienzelle und an ihrem peripherischen Ende beider Hüllen entbehren (Fig. 290 *a*). Unter den markhaltigen Nervenfasern finden sich keine, welche die Markscheide auf ihrem ganzen Verlauf besitzen, dieselbe fehlt vielmehr an einzelnen Strecken. Ohne Neurilemm trifft man solche Fasern im Gehirn und Rückenmark, mit Neurilemm in den Spinalnerven und im Sympathicus. Jeder Axencylinder zeigt eine zarte Längsstreifung (Fig. 290 *a*) als Ausdruck zahlreicher feinster Fibrillen, die durch eine geringe Menge kittartiger Zwischensubstanz (Neuroplasma) zusammen-

gehalten werden. Die Fibrillen lassen sich bis in die Ganglienzellen verfolgen (Fig. 290). Das Neuroplasma kann sich an einigen Stellen anhäufen, so dass der Axencylinder eine Anschwellung erhält. Bei markhaltigen Nervenfasern erscheint die Markscheide an vielen Stellen wie durch einen Ring abgeschnürt. Solche „Schnürringe“ (Fig. 290) finden sich in Abständen bis zu 1 mm. Der Abschnitt zwischen zwei Schnürringen heisst interannuläres Segment. — In den Centralorganen sind die Ganglienzellen und Nervenfasern von einer eigenthümlichen Kittmasse (Neuroglia, gr. τὸ νεῦρον der Nerv und ἡ γλία der Leim, Kitt — ein durch R. Virchow 1853 eingeführter Name) umgeben. Dieselbe besteht aus einer weichen Grundsubstanz und seltsam geformten, lang- und kurzstrahligen und fadenförmig ausgezogenen Zellen, die Gliazellen (Astrocyten und Ependymzellen [gr. τὸ ἐπένδυμα eigentlich das Oberkleid]).

Neuroglia.

Zwischen den beschriebenen Nervenelementen (Zellen und Fasern) besteht nach der Ansicht zahlreicher Forscher keine substanzielle Verschmelzung, sondern der Zusammenhang wird nur durch Berührung (per contiguitatem) bewerkstelligt. Die Zellfortsätze und Nervenfasern bilden demnach kein geschlossenes Netzwerk, sondern einen komplizirten Filz, ein sogenanntes Neuropilem (gr. τὸ πίλημα der Filz). In physiologischer Hinsicht erwächst hieraus keine Schwierigkeit; denn Berührung genügt zur Uebertragung nervöser Erregungen. Somit würde der gesammte Nervenapparat aus zahlreichen selbständigen Individuen bestehen, welche den Namen Neurone erhalten haben.

Neurone.

Jedes Neuron umfasst:

1. Die Ganglienzelle.
2. Die Dendriten mit ihren Endverästelungen.
3. Den Axencylinderfortsatz (Axon, Neurit) mit seinen Endverästelungen und Terminalkörperchen.
4. Die Collateralen (Paraxonen) mit ihren Endverästelungen.

Der wichtigste von diesen Bestandtheilen ist die Zelle selbst, sie stellt das percipirende und impulsive Glied, das physiologische Centrum dar. Sie ist der Hauptsitz der Energie, und in ihr gehen mannigfaltige Energieverwandlungen vor sich.

Die übrigen Bestandtheile dienen dazu den inneren und äusseren Energieverkehr zu unterhalten, sie sind Empfangs- und Leitungsapparate, und wenn einer derselben durch Lähmung oder Kontinuitätstrennung ausgeschaltet wird, so kann ein anderer dafür eintreten. Soviel über die Struktur unseres Nervensystems.

Ueber das Wesen der Nervenenergie lässt sich zur Zeit mit Sicherheit kaum etwas aussagen.

Aeusserungen der Nervenenergie.

Die Aeusserungen, in denen sich die Nervenenergie offenbart, sind Empfindung und Bewegung, sekretorische, trophische (gr. τρέφω ich ernähre; τρόφιος ernährend) und psychische Vorgänge.

Jeder dieser Vorgänge beansprucht besondere Neuronen, man spricht daher von einer spezifischen Energie derselben. Unter phy-

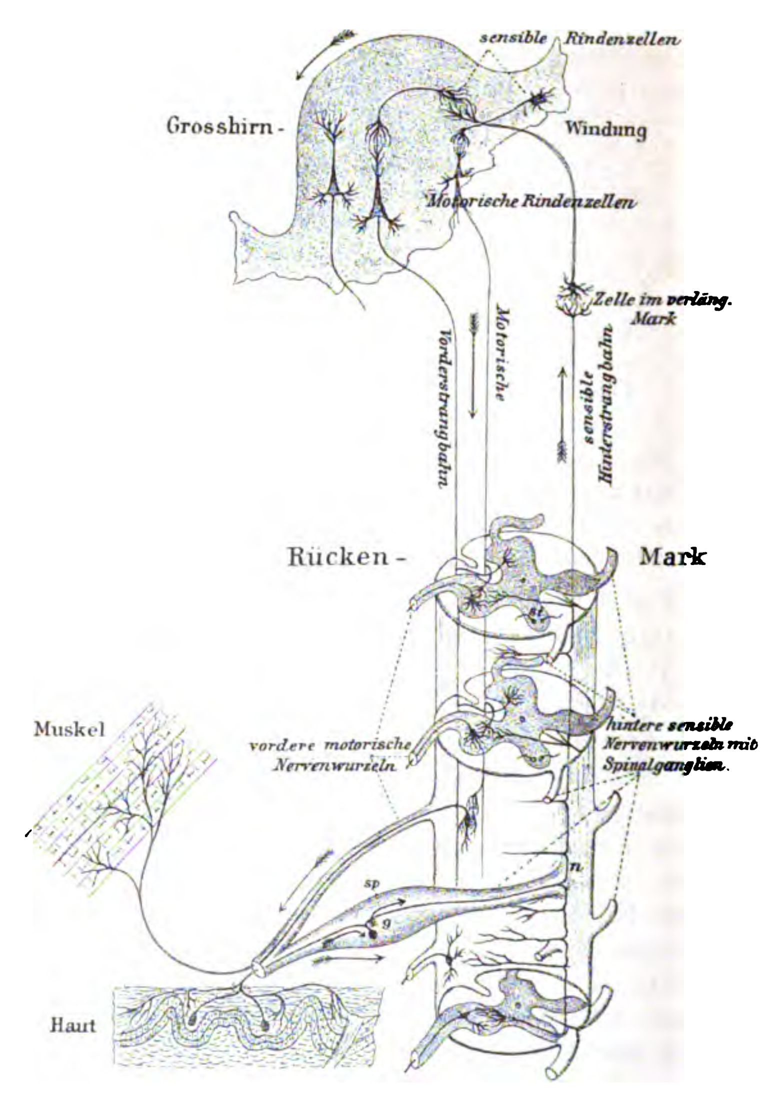


Fig. 291. Schematische Darstellung des Energieverkehrs zwischen den Neuronen im Rückenmarke und Gehirn.

siologischen Bedingungen geht der Energieverkehr entweder centrifugal (cellulifugal) oder centripetal (cellulipetal) oder intercentral (intercellular) vor sich. Der Antrieb zur Bewegung, zur Sekretion

und Ernährung ist von den Centralorganen nach der Körperperipherie gerichtet. Die Empfindungen verlaufen centripetal. Intercentraler Energieverkehr bleibt für die Psyche reservirt. Die grossen Nervenstämme bestehen meistens aus Nervenfasern verschiedener Gattung, welche sich erst an ihrem Bestimmungsorte trennen, um den spezifischen Energieverkehr zu vermitteln. Nur unter den Hirnnerven giebt es mehrere, die nur eine Art von Fasern führen. Jeder im Nervensysteme sich abspielende physiologische Vorgang beansprucht mindestens zwei, meistens noch mehr Nerveneinheiten. Es möge dies mit Hülfe der Fig. 291 an einem Beispiel erklärt werden.

Die von einer bestimmten Hautstelle, Fig. 291, centripetal leitende Empfindungsfaser übermittelt den Reiz der unipolar gewordenen Ganglienzelle *g* des sogenannten Spinalganglions *sp* in der hinteren Wurzel des Rückenmarksnerven.

Da der Fortsatz der Spinalganglienzelle entwickelungsgeschichtlich aus zwei oppositipol gestellten Fortsätzen entstanden ist, so leitet er cellulipetal und -fugal. Bei der Rückkehr aus der Zelle wird die Erregung auf das Rückenmark übertragen. In der (sensiblen) Hinterstrangbahn der weissen Substanz desselben theilt sich die Nervenfaser *n* in einen auf- und einen absteigenden Zweig. Der letztere erschöpft sich alsbald durch Abgabe von Collateralen. Der erstere schlägt, ebenfalls unter Abgabe zahlreicher Collateralen, die Richtung nach dem Gehirn ein und gelangt bis in die obersten Rückenmarksgebiete. Die Collateralen der sensiblen Faser dringen in die graue Substanz des Rückenmarkes ein und umgeben mit ihren Endverästelungen die in den Vorderhörnern der grauen Substanz gelegenen grossen motorischen Ganglienzellen. Von diesen Zellen führt die motorische Faser durch die vordere Wurzel des Rückenmarksnerven zu einer bestimmten Muskelgruppe, in welcher Bewegung ausgelöst wird. Je nach der Stärke der von einer Hautstelle ausgegangenen Erregung werden mehr oder weniger ausgedehnte Bezirke des Rückenmarkes durch die sensiblen Collateralen in den Vorgang einbezogen. Auf diese Weise vermag dieselbe Empfindungsfaser ein mehr oder weniger grosses Muskelgebiet zu beeinflussen.

Wesen der Reflexbewegung.

Der geschilderte Vorgang bildet eine Reflexbewegung, d. h. eine solche, die ohne Hülfe des Bewusstseins ausgelöst wird.

Es giebt noch eine andere Reflexauslösung unter Betheiligung der sogenannten Strangzellen der Hinterhörner (Strangzellenbahn), doch kann darauf hier nicht eingegangen werden.

Mit der Länge der Bahn wachsen die Leitungswiderstände; war der Reiz aber stark genug, so findet eine Uebertragung der Erregung bis in das Gehirn statt.

Wesen einer durch den Willen ausgelösten Bewegung.

Im einfachsten Falle (ohne Nebenleitung) verläuft dieser Vorgang wie folgt: Der von der Haut in die Spinalganglienzelle gelangte Reiz wird durch die sensible Faser des Hinterstranges bis in das verlängerte Mark hinauf geleitet. Die Endverästelung dieser Faser erreicht dort eine Zelle im Kerne des Stranges von Goll oder Burdach. Der Nervenfortsatz dieser Zelle dringt nach erfolgter sogenannter Schleifenkreuzung (sensibler Pyramidenkreuzung) bis in die Grosshirnrinde ein und erregt daselbst mit seiner Endverästelung eine sensible Rindenzelle, welche die empfangene Erregung durch ihren Nervenfortsatz intercentral auf eine motorische Rindenzelle überträgt. Diese antwortet auf die Erregung mit einem Bewegungsimpuls. Der Nervenfortsatz der letzteren Zelle nimmt seinen Weg beispielsweise durch die motorische Pyramidenvorderstrangbahn der weissen Substanz des Rückenmarkes und giebt Collateralen ab, welche, ebenso wie die Stammfaserenden, nach ihrer Kreuzung in der weissen Kommissur und nach dem Eindringen in die graue Substanz der Vorderhörner, die dort gelegenen motorischen Zellen mit ihren Verästelungen umspinnen. Die Fasern in der motorischen Pyramidenseitenstrangbahn, in Fig. 291 nicht gezeichnet, gehen schon im verlängerten Mark eine Kreuzung (motorische Pyramidenkreuzung) ein, (Fig. 285 *p*), während sich ihre Enden bezw. ihre Collateralen ungekreuzt zu den Vorderhornzellen begeben. Von letzteren gelangt der Bewegungsimpuls in der beschriebenen Weise zu einer Muskelgruppe, durch welche eine unter dem Willen stehende Bewegung ausgelöst wird. Der geschilderte Vorgang umfasst fünf Neurone. Die Hauptglieder derselben sind: 1. Die Spinalganglienzelle, 2. die Ganglienzelle im Kern des Hinterstranges, 3. die sensible Hirnrindenzelle, 4. die motorische Hirnrindenzelle, 5. die motorische Vorderhornzelle des Rückenmarks.

Man kann die Vorgänge im Nervensystem mit denjenigen vergleichen, die in einem Verwaltungsbezirke vorkommen, in welchem zahlreiche Behörden arbeiten. In beiden wird der Weg der Instanzen streng eingehalten. Ein Beamter übermittelt seiner vorgesetzten Behörde eine Meldung. Der Verhaltungsbefehl erfolgt aber nicht direkt, sondern ist das Ergebniss einer eingehenden Verarbeitung bei höheren und höchsten Behörden, wobei auf Präcedenzfälle, auf gleichzeitige andere Vorgänge etc. Rücksicht genommen wird. Ein Unterschied zwischen den Vorgängen in unserem Nervensystem und denjenigen in den Verwaltungen aber besteht darin, dass die ersteren sich immer sehr schnell vollziehen, dass dabei auf die Individualität der Betheiligten mehr Rücksicht genommen, dass jedes Element nur nach seinen Leistungen beurtheilt wird und in Folge dessen mehr zur Geltung gelangt. — Auch mit den Einrichtungen der Zwischenstationen in der Telegraphie, der sogenannten Relais, lässt sich die Funktion der Neurone vergleichen.

Seitdem A. Forel (August 1886) in seinen „hirnanatomischen Betrachtungen und Ergebnissen“ (Archiv für Psychiatrie 1887 Bd. 18 p. 162) den Aufbau des Nerven-

systems aus abgeschlossenen Einheiten zuerst klar erkannt und ausgesprochen hatte — von W. Waldeyer (Deutsche med. Wochenschrift 1891 Nr. 44 ff.) stammt nur der Name: Neurone — haben Anatomen, Physiologen und Pathologen dieselben mit besonderer Befriedigung als gesicherten Besitz der Wissenschaft betrachtet. Es war daher einigermaassen überraschend, als Forscher auftraten, welche auf Grund ihrer Untersuchungen eine andere Meinung äusserten und gegen die Neuronenlehre zu Felde zogen. Die ersten Angriffe waren namentlich gegen die Art der Verbindung der Neurone unter einander gerichtet. Mit dem Nachweis der fibrillären Struktur der Nervenelemente durch J. Apáthy und Bethe suchte sich die Ansicht Geltung zu verschaffen, dass die Nervenfibrillen spezifische Individuen darstellen und als selbstständige Einheiten an Stelle der bisher dafür gehaltenen Neurone zu setzen seien. Die Kardinalpunkte der neuen Lehre sind: 1. Die nervöse Substanz besitzt in ihrer ganzen Ausdehnung völlige Kontinuität; 2. die Elementarfibrillen, die stellenweise zu Neurofibrillen zusammentreten, sind die histologischen Individuen, durchsetzen unter Umlagerung und Bildung sogenannter Innengitter die Ganglienzellen und formiren ausserhalb von ihnen in der grauen Substanz kein sogenanntes Neuropilem, sondern ein diffuses Aussengitter mit geschlossenen Maschen; 3. eine eigentliche Endigung der Fibrillen hat weder central noch peripherisch statt; 4. die Ganglienzellen haben keine nervöse Funktion, sondern dienen nur zur Ernährung der Elementargitter. Auch alles psychische Geschehen, alles geistige Leben soll nur „ein Spiel der Reize der Aussenwelt im Fibrillengitter des Gehirns sein“. Die fibrilläre Substanz soll die Trägerin der nervösen Funktionen sein und die höchste Differenzirungsstufe des Protoplasmas im thierischen Körper darstellen.

Versuche die Neuronenlehre zu beseitigen.

A. Hoche hat es in einer kleinen Schrift: Die Neuronenlehre und ihre Gegner; Berlin; Hirschwald 1899 (darin auch die einschlägige Literatur) unternommen die älteren und neueren Anschauungen über die Beschaffenheit des Nervengewebes kritisch zu beleuchten und kommt zu der Ueberzeugung, dass der histologische Begriff des Neurons wenigstens im fertigen Organismus nicht mehr aufrecht erhalten werden kann, dass durch das Thatsächliche der Fibrillenlehre die Einheit des Neurons im entwickelungsgeschichtlichen Sinne aber nicht erschüttert wird, und dass die Erfahrungen der menschlichen und thierexperimentellen Pathologie uns nöthigen an der trophischen und funktionellen Einheit des Neurons festzuhalten.

Aus der reichen einschlägigen Literatur, die sich mit dem Bau des Nervensystems beschäftigt, kann hier nur auf einige Werke hingewiesen werden.

Eine übersichtliche und klare Darstellung der Struktur des Nervensystems mit einer Fülle von literarischen Angaben lieferte M. von Lenhossék unter dem Titel: „Der feinere Bau des Nervensystems im Lichte neuester Forschungen“. Die Arbeit findet sich in den Fortschritten der Medizin von 1892 Bd. 10. und ist in 2. Aufl. als Buch 1895 in Fischer's med. Buchhdlg., H. Kornfeld in Berlin erschienen, L. Edinger's Vorlesungen über den Bau der nervösen Centralorgane des Menschen und der Thiere 6. Aufl. 1899 Leipzig, F. C. W. Vogel, bilden für eingehende Studien eines der geeignetsten Werke. Des Weiteren nennen wir:

August Forel: Ueber das Verhältniss der experimentellen Atrophie und Degenerationsmethode zur Anatomie und Histologie des Centralnervensystems. Festschrift zur Feier des 50jährigen Doktor-Jubil. von Nägeli's und von Koelliker's Zürich, A. Müller 1891. (Diese Arbeit wird hier besonders deswegen

erwähnt, weil sie in zu beherzigender Dringlichkeit darauf hinweist, dass einseitige Untersuchungsmethoden eine erschöpfende Kenntniss vom Wesen des Nervensystems nicht zu geben vermögen, sondern dass zur Erreichung eines solchen Zieles die verschiedenartigsten Methoden gewürdigt und mit einander in ihren Ergebnissen verglichen werden müssen).

Von demselben Verfasser erschien:

Gehirn und Seele. Ein Vortrag, gehalten auf der 66. Vers. deutsch. Natf. u. Aerzte in Wien am 26. Sept. 1894, 5. u. 6. Aufl. Bonn E. Strauss. 1899 (Wenn wir uns auch den Meinungen und Ausführungen des Verf. nicht immer anzuschliessen vermögen, so können wir doch nicht umhin die Lektüre des Vortrages, der allgemeineres Interesse beansprucht, zu empfehlen. Es werden in dem Streben nach einer rein monistischen Weltanschauung, menschliches Bewusstsein, Seele, Bewusstseinsinhalt, Gehirnthätigkeit und Gehirnmaterie nur als Erscheinungsformen eines und desselben Dinges aufgefasst. Der Vortrag kann als ein Beitrag zur philosophischen Seite der modernen Energetik betrachtet werden, wenn der Verf. daran auch vielleicht nicht dachte. Forel's „Weltpotenz" lässt sich mit der Energiesubstanz identifiziren. Im Uebrigen giebt der Vortrag mancherlei Hinweise auf Bau und Verrichtungen des Nervensystems).

Endlich nennen wir noch:

Ludwig Stieda: Geschichte der Entwickelung der Lehre von den Nervenzellen und Nervenfasern während des 19. Jahrhunderts. 1. Theil: Von Sömmering bis Deiters. Mit 2 Tafeln. Festschrift zum 70. Geburtstag von Karl von Kupffer, Jena, Fischer 1899. (Wer Sinn und Interesse für historische Forschung besitzt, der wird den Werth dieser eingehenden Abhandlung zu würdigen wissen. Leider giebt es auf allen Wissensgebieten Männer, die in dem Irrthume befangen sind, dass der Fortschritt der Wissenschaft von ihrer historischen Entwickelung unabhängig sei, und die daher, wie auch Stieda bemerkt, historische Untersuchungen für überflüssig halten. Wer nicht so denkt, dem wird die in Aussicht gestellte Fortsetzung dieser geschichtlichen Studie Stieda's von Deiters bis auf die Gegenwart willkommen sein).

Wenn wir in diesem Buche auch auf eine erschöpfende Darstellung der Leitungsbahnen im Gehirn und Rückenmarke verzichten müssen, so wollen wir doch noch der sogenannten physiologischen Centren gedenken; denn diese sind für den Energieverkehr besonders wichtig. Die Grosshirnrinde ist, wie erwähnt, der Sitz aller höheren Seelenthätigkeiten und der Intelligenz, jedoch nicht in der Weise, dass die gesammte Rinde in funktioneller Beziehung gleichwerthig wäre und ein Abschnitt für einen anderen vikariirend eintreten könnte. Die verschiedenen Thätigkeiten: das Fühlen, Sehen, Hören, Riechen, Schmecken sind vielmehr in ganz bestimmten, mit Stabkranzfasern versehenen Gebieten der Rinde im Bereiche von gewissen, der Flächenvergrösserung dienenden Hirnwindungen (Gyri) und dazu gehörigen Vertiefungen (Sulci) (Fig. 285 u. 292) lokalisirt.

Sinnescentren.

Beim Neugeborenen sind diese Gebiete schon relativ gut entwickelt und deshalb leicht nachweisbar; es enthält die Rinde des Scheitellappens das Fühlcentrum (Tastsphäre, Fig. 292), und zwar für

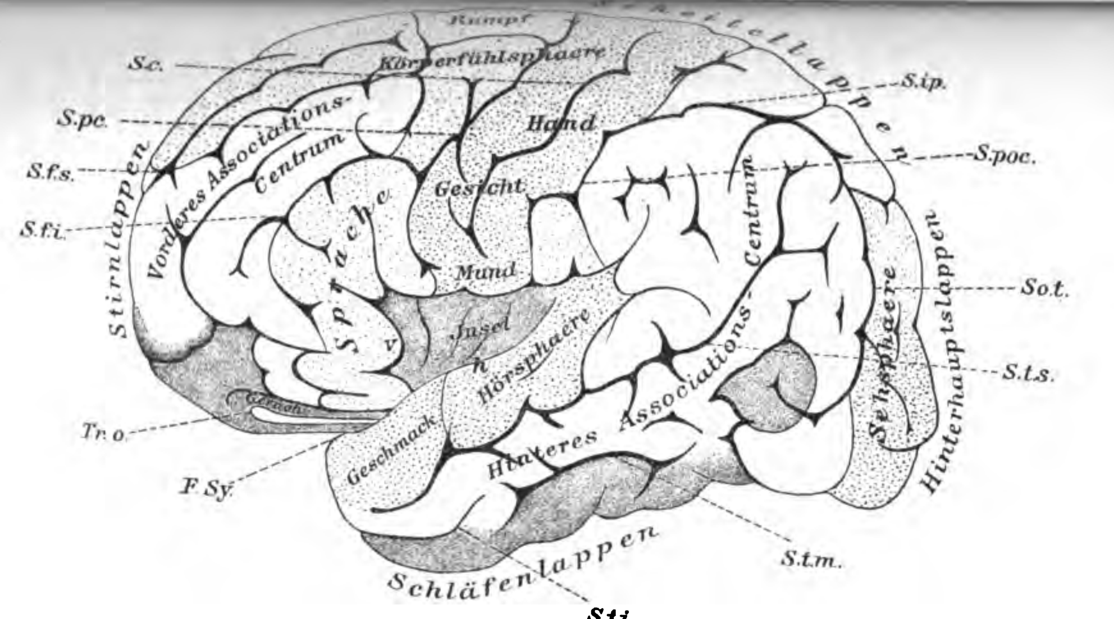


Fig. 292. **Linke Grosshirnhemisphäre (Mensch) mit Furchen (schwarz),** Windungen, Sinnescentren **(punktirt) und Associationscentren** (weiss). Einige tief gelegene Gebiete schattirt. Fig. nach einer von Flechsig angefertigten Photographie hergestellt. Am Stirnlappen: Obere und untere Stirnfurche (*S.f.s.* und *S.f.i.*). Erstere begrenzt lateral die obere Stirnwindung letztere eine mittlere Gruppe von Stirnwindungen. Der *S.f.i.* fliesst mehr oder minder deutlich mit der praecentralen Furche *S.pc.* zusammen. Die Windungsgruppe zwischen *S.f.i.* und dem Anfange der Sylvi'schen Spalte *F.Sy.* (*v* vorderer, *h* hinterer Schenkel derselben) bildet den Gyrus frontalis inferior. *S.pc.* und die Centralfurche (*S.c.*) verlaufen, die vordere Centralwindung zwischen sich nehmend, bis zum sogen. Klappdeckel (Operculum) herab, welcher, von den beiden Schenkeln der Sylvi'schen Spalte begrenzt, die Insel bedeckt, die eine Gruppe kurzer, nach aufwärts divergirender Windungen besitzt. Auf der Unterfläche des Stirnlappens liegt der Tractus olfactorius (*Tr.o.*). Der Scheitellappen wird durch den Sulcus interparietalis *S.ip.* in einen oberen und unteren Abschnitt getheilt. Zwischen dem vorderen Theil des *S.ip*, welcher als hintere Centralfurche *S.poc.* auf das Operculum ausläuft, und dem *S.c.* liegt die hintere Centralwindung. Vom *S.ip.* aus läuft quer über den Schläfenlappen der Sulcus temporalis superior *S.t.s.* Zwischen ihm und dem hinteren Schenkel der *F.Sy* liegt die obere Schläfenwindung, welche in die das obere und hintere Ende des *S.t.s.* umgebende Winkelwindung (Gyrus angularis) übergeht. Unter dieser der Gyrus subangularis (schattirt). Unter dem *S.t.s.* liegen die mittlere und untere Schläfenfurche *S.t.m.* und *S.t.i.*, sie begrenzen mit dem *S.t.s.* die mittlere und untere Schläfenwindung. Die Grenze des Hinterhauptlappens bildet der Sulcus occipitalis transversus *S.o.t.* — Minder konstant und weniger tief als die genannten Sulei sind zahlreiche andere Furchen, welche Windungen begrenzen, die um so unregelmässiger sind, je später sie sich entwickeln.

verschiedene Körpergegenden an ganz bestimmten Stellen. Verletzung solcher Stellen bringt Gefühllosigkeit hervor. Die Sehsphäre oder das psycho-optische Centrum liegt im Hinterhauptslappen um die sogenannte Fissura calcarina herum (in Fig. 292 nicht sichtbar, zu vergl. Fig. 285 *F. c.*). Eine Verletzung dieses Gebietes zieht Erblindung (Rindenblindheit) nach sich. Die Hörsphäre oder das psychoakustische Centrum befindet sich im Schläfenlappen, im Bereiche der sogenannten Sylvi'schen Spalte (Fissura Sylvii, Fig. 292 *F. Sy.*). Verletzung dieser Gegend führt zur Taubheit (Rindentaubheit). Die Riechsphäre hat ihre Lage an der unteren Fläche der Grosshirnhemisphäre im sogenannten Gyrus hippocampi und in dessen in das Innere sich einrollenden Theil (Ammonshorn, in Fig. 292 nicht sichtbar). Wenn dieser Hirntheil zerstört wird, so verliert sich das Geruchsvermögen. Das sensorielle Centrum für den Geschmack ist im vorderen Abschnitte des Schläfenlappens gelegen.

Jacobus Sylvius, geb. 1478 in Louvilly, einem Dorfe in der Diöcese Amiens, Docent der Med. am Collège royal in Paris, gest. am 14. Jan. 1555 in Paris.

Um die Kenntniss der Sinnessphären im Grosshirn hat sich schon vor zwei Jahrzehnten namentlich Herm. Munk verdient gemacht. Seine neueste Arbeit: Ueber die Ausdehnung der Sinnessphären in der Grosshirnrinde findet sich in den Sitzungsber. der Kgl. preuss. Akad. der Wiss. 1899, Bd. 52, Sitzung der physikal.-mathem. Kl. vom 14. Dezember.

Flechsig's Associationscentren.

Zwischen den einzelnen Sinnessphären erstrecken sich andere Rindengebiete, welche Associationscentren heissen, weil durch sie verschiedene Sinnesempfindungen ausgelöst und associirt werden, indem markhaltige Faserzüge (Associationsfasern) aus den Sinnessphären in diese Gebiete hineinwachsen; beim Neugeborenen sind sie noch unentwickelt.

P. Flechsig unterscheidet drei solche Associationscentren. Eines derselben (mittleres Associationscentrum) wird von der, unter dem sogen. Klappdeckel (Operculum) in der Tiefe der Sylvi'schen Spalte gelegenen, in Fig. 292 angedeuteten Insel (Insula Reilii) geliefert. Dieses Gebiet scheint ein Centrum zu sein, welches sämmtliche an der Sprache betheiligten, motorischen und sensiblen Rindenfelder zu einem einheitlichen Ganzen verbindet und insbesondere dazu dient, „Gehörseindrücke und Bewegungsbilder der Lippen, der Zunge, des Gaumens, Kehlkopfes etc. zu verknüpfen“.

Johann Christ. Reil, geb. in Rhaude (Ostfriesland) 28. Febr. 1759, zuerst Arzt in seiner Vaterstadt, dann Docent u. Prof. der Med. in Halle u. Berlin, gest. 22. Nov. 1813 in Halle am Typhus.

Ein zweites vorderes Associationscentrum dehnt sich im Stirnlappen aus und erhält hauptsächlich Associationsfasern aus der Körperfühl- und Riechsphäre. Das dritte hintere Associationscentrum nimmt bei geistig hochstehenden Menschen fast die Hälfte des gesammten Grosshirns ein und erstreckt sich über die Scheitel-, Schläfen- und Hinterhauptsgegend. Es ist das grösste der drei Centren und scheint der eigentliche Sitz des Denkvermögens zu sein.

Die Stirn wird hierdurch ihres altehrwürdigen Rufes als Hauptwerthmesser geistiger Bedeutung um so mehr entkleidet, als die um die Gegend der Scheitelhöcker sich gruppirenden Rindenfelder allem Anscheine nach zur genialen Produktion in besonders naher Beziehung stehen. (Flechsig.)

Anderweitige Centren.

Im Mittelhirn werden die koordinirten Bewegungen erzielt, die nach Abtragung der Grosshirnhemisphären erhalten bleiben und zur Auslösung kommen, wenn man das Mittelhirn reizt. Der Wärmecentren wurde schon in Bd. I auf p. 975 gedacht.

„Das Kleinhirn registrirt jede Lageveränderung der beweglichen Körpertheile und erzeugt so jederzeit ein erschöpfendes statischmechanisches Bild des Ganzen, dass wir uns nicht wundern können, wenn auch ohne Mitwirkung äusserer Sinneswahrnehmungen zweckmässige Bewegungen des Gesammtkörpers zu Stande kommen."

Im verlängerten Mark finden sich Reflexcentren für die Kau- und Schluckbewegungen, für den Lidschluss, den Vorgang des Niesens und Hustens, sowie für die Speichel- und Thränenabsonderung. Von automatischen Centren daselbst sind namentlich das Centrum der Athmung (zu vergl. Bd. I, p. 726), der Hemmung sowie der Beschleunigung der Herzthätigkeit und das vasomotorische Centrum zu erwähnen. Flechsig sagt vom verlängerten Mark, dass es mit Nerven zusammenhänge, „deren spezifische Aufgabe es ist, den Mangel an fester Nahrung, an Wasser, an Sauerstoff, also chemische Veränderungen anzuzeigen, beziehungsweise durch lokalisirte Hunger-, Durst- und Angstgefühle zum Bewusstsein zu bringen".

Auch im Rückenmarke giebt es etliche Centren, die hier nicht der Erwähnung bedürfen.

Angriffe auf Flechsig's Associationscentren.

Flechsig's Lehre, dass die Gehirnoberfläche aus qualitativ verschiedenen, mehr oder weniger scharf begrenzten Abschnitten bestehe, von denen die einen, die Sinnescentren, mit dem Stabkranz verbunden sind, die anderen, die Associationscentren, fast ausschliesslich Associationsfasern besitzen, wird für das ausgebildete Gehirn neuerdings von mehreren Forschern bekämpft. Trotz der Widersprüche hält Flechsig an seiner Auffassung fest, und wenn sich hin und wieder auch eine Projektionsfaser in den Associationscentren findet, so ist dieser Befund doch keineswegs ein Beweis gegen die Richtigkeit des Prinzipes. Neuere Untersuchungen Flechsig's haben ergeben, dass die von ihm bisher beschriebenen Associationscentren noch in weitere Unterabtheilungen zerfallen, in Randzonen und Centralgebiete.

Das hier in Betracht kommende Hauptwerk Flechsig's ist betitelt: Gehirn und Seele (Leipziger Rektoratsrede) 2. Aufl. Leipzig, Veit u. Co. 1896.

Eine Rechtfertigung Flechsig's gegenüber den verschiedenen Angriffen auf seine Lehre findet sich unter dem Titel: „Neue Untersuchungen über die Markbildung in den menschlichen Grosshirnlappen" im Neurologischen Centralblatt 1898. Nr. 21, p. 977.

Von den polemischen Schriften sind zu erwähnen:

J. Dejerine: Sur les fibres de projection et d'association des hémisphères cérébraux. Compt. rend. des séances de la société de biologie, séance du 20. Févr. 1897.

A. Mahaim: Centres de projection et centres d'association du cerveau. La Belgique médicale 4e Année Nr. 16, Avril 1897, p. 481.

E. Simmerling: Ueber Markscheidenentwickelung des Gehirns und ihre Bedeutung für die Lokalisation (Nach einem auf der Versammlung der deutschen Irrenärzte zu Bonn am 17. September 1898 gehaltenen Vortrage).

Oskar Vogt: Flechsig's Associationscentrenlehre, ihre Anhänger und Gegner. Zeitschrift für Hypnotismus Bd. 5, Heft 6, p. 347.

Mme. Cécile Vogt: Étude sur la myélinisation des hémisphères cérébraux; avec 30 figures. Paris G. Steinheil 1900.

Es kann hier nicht darauf eingegangen werden, ob und in wie weit die gegen die Flechsig'schen Anschauungen gerichtete Polemik gerechtfertigt ist. Es sei nur bemerkt, dass den Untersuchungen an thierischen Gehirnen eine Entscheidung in der Angelegenheit nicht zusteht. Auf die Erörterungen während des 13. internat. med. Kongresses in Paris, Aug. 1900, kann hier nur hingewiesen werden.

Von allgemeinem Interesse ist G. Hirth's interessante Schrift: Die Lokalisationstheorie, angewandt auf psychologische Probleme, 2. Aufl. München: G. Hirth's Verlag 1895.

Nach diesen Betrachtungen über den Bau und die Verrichtungen unseres Nervensystemes wenden wir uns zur Besprechung einer in diesem Buche bereits mehrfach erwähnten Bewegungsform, der Wellenbewegung, in welcher gewisse energetische Vorgänge, insbesondere auch der Schall, sich äussern.

II. Allgemeines über Wellenbewegung.

Definition der Wellenbewegung.

Wenn Energie in dem Gleichgewichtszustande materieller Theilchen, aus welchen die Anhänger der Molekulartheorie alle ponderablen Körper zusammengesetzt sein lassen, periodische Veränderungen nach Art von Schwingungen (zu vergl. Bd. I, p. 114) hervorruft, die sich von dem Orte der Erregung über benachbarte Gebiete ausbreiten, so wird eine Bewegungsform erzeugt, welche Wellenbewegung heisst. Sowohl in festen als auch in flüssigen und gasförmigen Körpern kann diese Art von Bewegung vorkommen, ja sogar der vielumstrittene Aether (zu vergl. Kap. 15) soll Wellen schlagen können. In einer Wellenbewegung der Plastidulen oder der Molekeln des Lebensstoffes erblickt E. Haeckel (Die Perigenesis der Plastidule oder die Wellenzeugung der Lebenstheilchen; Berlin, G. Reimer 1876) die Ursache der Biogenese. Obwohl die Wellenbewegung nach der Molekulartheorie von dem Vorhandensein materieller Theilchen abhängig ist und durch letztere vermittelt wird, verlassen die Theilchen dabei eben so wenig ihren Ort, wie die Halme eines wogenden Aehrenfeldes.

Es ist also die Wellenbewegung nur eine Bewegungsform, die sich aus den Primitivbewegungen materieller

Theilchen ergiebt. Wenn alle Theilchen in ihre Gleichgewichtslage zurückgekehrt sind, so ist die Wellenbewegung erloschen.

1. Entstehung und Gestalt von Wellen.

Entstehung und Gestalt der Wellen.

Zur Erläuterung der Entstehung von Wellen betrachten wir die Fig. 293. In derselben mögen die Zahlen 1 bis 8 acht in gleichen Abständen von einander gelegene Theilchen einer Wasserfläche bezeichnen. Die Theilchen mögen eine auf- und niedergehende Schwingungsbewegung in elliptischer Bahn ausführen und zwar in der Art, dass sie ihre Bewegungen nicht gleichzeitig mit einander, sondern in gleichen Zeitabschnitten nach einander beginnen. Wenn dann das in der Richtung des Pfeiles schwingende Theilchen 1 auf seiner Bahn eine ganze Schwingung vollendet hat, müssen die folgenden Theilchen 2, 3 u. s. w. nur $\frac{7}{8}, \frac{6}{8}$ u. s. w. ihrer Bahn durchlaufen, sich also in derselben Zeit an die Stellen 2^1, 3^1 u. s. w. begeben haben, während das Theilchen 9 noch in Ruhe verharrt. Theilchen, die zwischen den genannten liegen, werden Zwischenlagen

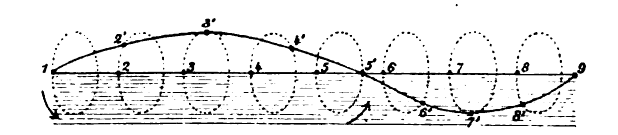


Fig. 293. **Entstehung der Wellenform aus den Primitivbewegungen materieller Theilchen.**

einnehmen. Verbindet man die einzelnen Theilchen durch eine Linie, so tritt die Wellenform deutlich hervor. Dass in Wasserwellen die beschriebenen Schwingungen wirklich vorhanden sind, lässt sich beobachten, wenn man einer Wassermasse, die sich in einem Kasten mit gläsernen Wänden (Wellenrinne) befindet, Bernsteinkörnchen beimengt, und die Bewegungen dieser während der Wellenerregung verfolgt. — Die Gebrüder Weber fanden 1825, dass die Schwingungen der zunächst der Oberfläche gelegenen Theilchen in elliptischen Bahnen erfolgen, dass die senkrechte Axe der Ellipsen nach der Tiefe zu immer kleiner wird, so dass Kreisbahnen entstehen, und dass schliesslich ungefähr in der hundertfachen Tiefe der Wellenhöhe alle Theilchen waagerecht hin- und herschwingen. Die Schwingungsbahnen der Theilchen sind nur dann geschlossene Kurven, wenn die Wellen sich an derselben Stelle mit gleichen Dimensionen wiederholen, wenn dies jedoch nicht der Fall ist, bilden die Schwingungsbahnen keine geschlossenen Kurven, sondern elliptische Spiralen.

Dass sich der soeben beschriebene Vorgang, der hier nur an einer Molekelreihe erörtert wurde, flächenhaft ausbreiten und nicht nur im Niveau, sondern auch bis zu einer gewissen Tiefe zeigen wird, ist leicht einzusehen.

Die Hub- und Senkbewegung des Wassers erfolgt deswegen, weil die aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachten Theilchen, wegen der geringen Zusammendrückbarkeit flüssiger Körper (zu vergl. Bd. I, p. 562) nur gegen das angrenzende elastische Medium, die Luft, ausweichen können. Ein auf die Oberfläche des Wassers ausgeübter Druck treibt daher das Wasser in der Umgebung in die Höhe. Die Erhebung über das Niveau heisst Wellenberg. Nach der Entstehung desselben beginnt die Schwere zu wirken, wodurch das Wasser mit beschleunigter Geschwindigkeit in die Ruhelage zurück und in Folge des Trägheitsprinzipes (zu vergl. Bd. I, p. 112) unter dieselbe hinabsinkt. Die Vertiefung unter das Niveau wird Wellenthal genannt. Die Entfernung zwischen dem Berggipfel und der tiefsten Stelle des Thales ergiebt die Höhe einer Welle.

Die Gestalt einer Welle ist durch den Aggregatzustand des Mediums bedingt, in welchem sie durch die Primitivbewegung der Theilchen erregt wird.

Der allgemeine Name Wellenbewegung oder Undulation (lat. unda die Welle) ist zweifelsohne ursprünglich von der Beschaffenheit einer in krummlinigen Formen auf- und niederschwankenden Wasserfläche hergenommen.

2. Fortschreitende Wellen.

Fortschreitende Wellen.

Wenn eine Welle sich ungehindert in ihrem Schwingungsmedium ausbreiten kann, so nennt man sie eine fortschreitende Welle. Mehrere fortschreitende Wellen, die sich an einander reihen, bilden einen Wellenzug. Das Fortschreiten der Wellenbewegung erfolgt mit gleichförmiger Geschwindigkeit, gleichgültig, welcher Natur das Schwingungsmedium ist. Die Wasserwellen liefern ein Beispiel, an welchem sich das Wesen fortschreitender Wellen erläutern lässt. Ein Stein, der bei E (Fig. 294) ins Wasser fällt, erzeugt rings um sich herum einen Wellenberg ab. Darauf entsteht an der Stelle desselben ein ringförmiges Thal und in weiterem Abstande von dem Erregungscentrum E ein neuer, mit dem ersten konzentrischer Wellenberg cd, während sich das Wasser im Mittelpunkte E staut. Im dritten Stadium zeigen sich zwei konzentrische Wellenberge, von denen der engere an derselben Stelle wie im ersten Stadium bei ab, der weitere in grösserer Entfernung vom Mittelpunkte in ef auftritt, während sich an der Stelle des Berges cd ein ringförmiges Thal bildet. Im vierten Stadium wiederholt sich das zweite aber mit dem Unterschiede, dass an der Stelle des Berges ef des dritten

Stadiums ein Thal, und in noch grösserer Entfernung vom Mittelpunkte der neue konzentrische Berg *g h* sich einstellen. Im fünften Stadium wiederholt sich in analoger Weise der Zustand des dritten mit der Bildung eines Thales an der Stelle des Berges *g h* des vierten Stadiums und eines neuen, noch weiter abliegenden Berges *i k* u. s. w. Hierbei werden die äusseren, sich neubildenden Wellenberge und die ihnen folgenden Thäler immer flacher, die dem Mittelpunkte näher gelegenen nehmen ebenfalls ab und endlich tritt wieder der Gleichgewichtszustand ein. Denkt man sich während der Bewegung durch das Erregungscentrum *E* senkrecht zur Wasserfläche eine Ebene gelegt, so entsprechen die Vorgänge in dieser Ebene denjenigen, die an Fig. 293 erläutert wurden.

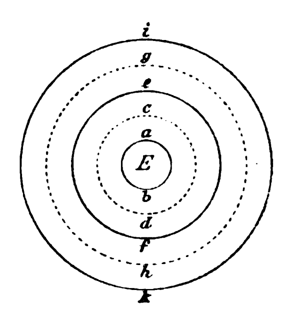


Fig. 294. Schema der Fortpflanzung konzentrischer Wasserwellen vom Erregungscentrum *E* aus.

Die Primitivbewegungen, welche die einzelnen Theilchen in einer, in der Richtung des Pfeiles *p* (Fig. 295) fortschreitenden Welle ausführen, lassen sich durch die kleinen senkrechten Pfeile darstellen.

Die Bewegungsrichtung der Theilchen giebt Veranlassung, Berg und Thal der fortschreitenden Welle noch in Hälften zu theilen und von einem vorderen und hinteren Abschnitte beider zu reden. Der vordere Abschnitt (Vordertheil) des Berges liegt zwischen *a* und *b*, sein hinterer Abschnitt (Hintertheil) zwischen *b* und *c*. Die entsprechenden Theile des Thales sind *c d* und *d e*. In den vorderen Abschnitten von Berg und Thal und in den hinteren Ab-

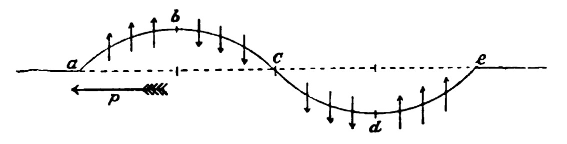


Fig. 295. Schema der Schwingungsrichtung der einzelnen Theilchen in einer fortschreitenden Welle.

schnitten beider schwingen die Theilchen in entgegengesetzter Richtung, während sie im vorderen Abschnitte des Berges und hinteren Abschnitte des Thales, sowie im hinteren Abschnitte des Berges und vorderen Abschnitte des Thales gleiche Schwingungsrichtung besitzen.

Diese Vorgänge rühren daher, dass die Theilchen im vorderen Abschnitte des Berges (Fig. 295 *a b*) das Bestreben haben, eines nach

dem anderen den Gipfel der Welle zu erklimmen, während die Theilchen im hinteren Abschnitte des Berges (Fig. 295 *b c*), der Schwere folgend, nach abwärts streben und dieses Bestreben auch im Vordertheile des Thales *c d* beibehalten, bis sie den tiefsten Punkt desselben (Fig. 295 *d*) erreicht haben, um dann, dem Drucke gehorchend, im hinteren Abschnitte *d e* des Thales aufwärts zu streben. Es befinden sich demnach bei einer fortschreitenden Welle die Vordertheile und Hintertheile von Berg und Thal in einer zur Gleichgewichtslage entgegengesetzten Bewegungsrichtung.

Erzeugung von Seilwellen. Als geeignetes Objekt zur Beobachtung fortschreitender Wellen kann ein Seil dienen. Wird ein solches zwischen zwei festen Punkten ausgespannt und gegen das eine Ende von unten nach oben in senkrechter Richtung ein Schlag geführt, so sieht man wie ein Wellenberg über die

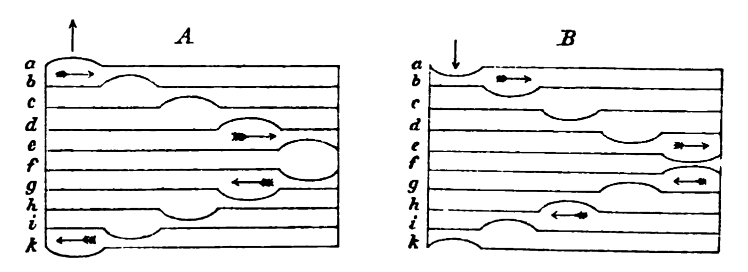


Fig. 296 *A* und *B*. Schema zur Erläuterung des Fortschreitens von Seilwellen vor und nach der Reflexion.

ganze Länge des Seiles hinläuft (Fig. 296 *A a* bis *e*). Fällt der Schlag von oben nach unten auf das Seil, so erzeugt er ein in derselben Weise fortschreitendes Wellenthal (Fig. 296 *B a* bis *e*). Der Umstand, dass sich an einem Seile Berg- und Thalwelle gesondert erhalten lassen, hat darin seinen Grund, dass die Schwingungen in einem isotropen Mittel, der Luft, vor sich gehen.

Charakteristisch für fortschreitende Wellen ist, dass jedes in der Fortpflanzungsrichtung folgende Theilchen seine Schwingungen um so später beginnt, je weiter es im Schwingungsmedium von dem Ursprunge der Wellenbewegung entfernt ist. In Folge dessen hat jedes Theilchen in Bezug auf das ihm vorhergehende in seiner

Phasendifferenz. Primitivbewegung eine Phasendifferenz, wobei als Phase der Bruchtheil der ganzen Schwingungsperiode verstanden werden mag, in welcher ein Theilchen einen bestimmten Ort seiner Bahn erreicht. Endlich ist die Amplitude aller schwingenden Theilchen in fortschreitenden Wellen die nämliche. — Diejenigen Flächen

einer fortschreitenden Welle, in welchen die Theilchen in demselben Augenblicke gleiche Phasen haben, heissen **Wellenflächen** und die Strecke, um welche zwei Wellenflächen, die eine Phasendifferenz gleich der Schwingungsdauer haben, von einander abstehen, mit anderen Worten: die Länge eines Wellenberges und eines Wellenthales zusammengenommen (Fig. 295 *a e*) heisst **Wellenlänge** und wird mit λ bezeichnet. Somit ist von selbst klar, was man unter einer **halben** und einer **viertel** Wellenlänge zu verstehen hat. Aus Fig. 293 lässt sich noch eine bemerkenswerthe Thatsache erkennen. Wir sahen, dass in der Zeit, in welcher das Theilchen 1 seine Bahn zurücklegt, die resultirende Bewegung um eine Wellenlänge λ vorwärts kommt. Bezeichnen wir die Dauer einer Primitivbewegung mit τ, so schreitet die Wellenbewegung in der Zeit τ um die Strecke λ fort. Da das Fortschreiten einer Welle eine gleichförmige Bewegung ist, so wird, wenn der Dauer τ der Weg λ entspricht, der Zeitdauer 1 d. h. der Sekunde ein Weg von der Länge v entsprechen und es verhält sich daher $\frac{v}{1} = \frac{\lambda}{\tau}$.

Man pflegt, wie auf p. 114 und 116 (Bd. I) angegeben wurde, den Weg, welchen ein mit gleichförmiger Bewegung ausgerüsteter Körper in der Zeiteinheit (1 Sek.) zurücklegt, seine Geschwindigkeit zu nennen. Dasselbe gilt auch für das Fortschreiten einer Wellenbewegung, wofür der Ausdruck **Fortpflanzungsgeschwindigkeit** gebräuchlich ist. Man hat daher für diese

$$v = \frac{\lambda}{\tau},$$

woraus folgt: $\lambda = v\tau$ und $\tau = \frac{\lambda}{v}$.

Je schneller die Primitivbewegungen auf einander folgen, desto mehr Wellen von der Länge λ werden sich in der Zeit τ auf einer bestimmten Strecke ausbreiten. Da jede Welle dieselbe Strecke im gleichen Medium in derselben Zeit durchläuft, so werden alle gleichzeitig erregten Wellen, gleichviel welche Länge sie haben, gleichzeitig das Ende der Strecke erreichen.

Im Allgemeinen verlaufen Wellenbewegungen so schnell, dass es unmöglich ist die einzelnen Bewegungen mit dem Auge getrennt wahrzunehmen. Es ist aber die Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen, ebenso wie die der Wellenlängen, mit Hülfe verschiedener Methoden möglich.

Trifft eine Welle bei ihrer Ausbreitung auf einen Widerstand, so können verschiedene Vorgänge eintreten.

Beugung von Wellen.

a) Beugung (Inflexion, Diffraktion). Lässt sich der Widerstand seitens der Welle umgehen, wie es beispielsweise vorkommt, wenn eine Wasserwelle gegen ein Felsstück prallt oder durch ein enges Felsenthor dringt, so geben diese Hindernisse Veranlassung zur Bildung neuer Wellensysteme, die in verschiedenen, namentlich seitlichen Richtungen fortschreiten. Derartige Abweichungen von der geradlinigen Fortpflanzung bezeichnet man als Beugung, Inflexion (lat. inflexio [zusammenhängend mit inflecto, ich beuge]), oder Diffraktion (lat. diffringo [Supin. diffractum] ich zerbreche).

Reflexion von Wellen.

b) Reflexion. Stösst eine Welle auf einen von ihr nicht zu umgehenden Widerstand, so wird sie unter Beibehaltung ihrer Geschwindigkeit und Schwingungsamplituden, rückläufig. Sie beginnt aber den Rückweg mit demjenigen Schwingungszustande, in welchen sie eingetreten wäre, falls sie auf ihrem Wege kein Hinderniss gefunden hätte. Es lässt sich dieser Vorgang, der Zurückwerfung oder Reflexion (lat. reflexio [zusammenhängend mit reflecto, ich wende mich rückwärts]) heisst, wiederum am ausgespannten Seile deutlich machen. Der Wellenberg kehrt als Thal, das Thal als Berg zurück (Fig. 296 A u. B f bis k). Nur wenn das Seil an einem Ende nicht befestigt wird, kehrt der Berg als Berg, das Thal als Thal zurück. Allgemein ist bei der Reflexion besonders die Richtung der in Betracht kommenden Welle zu beachten. Trifft die Welle lothrecht auf das Hinderniss, so wird sie ebenso zurückgeworfen. Bildet dagegen die ursprüngliche, einfallende Welle mit dem Lothe (Einfallslothe) einen schiefen Winkel (Einfallswinkel), so bildet die reflektirte Welle auf der entgegengesetzten Seite des Einfallslothes in derselben Ebene den gleichen Winkel, d. h. Reflexions- und Einfallswinkel sind einander gleich.

Brechung von Wellen.

c) Brechung. Unter Brechung oder Refraktion (lat. refractio, zusammenhängend mit refringo [Supin. refractum] ich breche) einer Welle versteht man die Ablenkung ihrer Richtung beim Eintritt in ein anderes Schwingungsmedium. Von wesentlichem Einfluss auf diesen Vorgang ist die Dichte der in Betracht kommenden Schwingungsmedien. Der Winkel, den die von ihrer Richtung abgelenkte oder gebrochene Welle mit dem Einfallslothe einschliesst, heisst der Brechungswinkel. Die gebrochene und die einfallende Welle liegen auf entgegengesetzten Seiten der brechenden Fläche und des Einfallslothes in der Ebene, welche durch letzteres und die einfallende Welle bestimmt wird, und das Verhältniss der Sinusse des Einfalls- und Brechungswinkels ist konstant.

Interferenz von Wellen.

d) Interferenz. Ausser den besprochenen Erscheinungen spielt in der Wellenlehre noch ein Vorgang, die sogenannte Interferenz (frz. interférence von interférer dazwischenkommen, aufeinanderstossen) eine wichtige Rolle. Man versteht unter Interferenz die Abschwächung oder Verstärkung, beziehungsweise die vollständige Vernichtung zusammentreffender und sich durchkreuzender Wellen.

Mit Bezug auf die Unterscheidung von Berg und Thal fortschreitender Wellen lässt sich die Erklärung des Vorgangs in folgende spezielle Fassung kleiden. An allen Stellen, an welchen zwei Wellenberge beziehungsweise Wellenthäler auf einander einwirken, erfolgt eine Verstärkung bis zur doppelten Höhe beziehungsweise Tiefe. An allen Stellen, an welchen ein Wellenberg und ein Wellenthal sich beeinflussen, erfolgt eine Abschwächung in der Art, dass sich die Berge beziehungsweise Thäler verkleinern, oder dass das ursprüngliche Niveau hergestellt wird.

Allgemein lässt sich sagen, dass in einem Schwingungsmedium, welches von zwei oder beliebig vielen Wellensystemen bewegt wird, jedes zu der Bewegung beitragende Theilchen eine Verschiebung erfährt, deren Grösse die Summe aller derjenigen Verschiebungen ist, welche ihm seitens sämmtlicher in Betracht kommenden Wellensysteme in dem nämlichen Augenblicke ertheilt werden. Um diese Summe zu erhalten, muss man alle Hebungen zusammenzählen und alle Senkungen abziehen. Die daraus sich ergebende wirkliche Bewegung des betroffenen Theilchens ist das Resultat aus allen Bewegungen, durch welche es beeinflusst wird. Die Gesammtheit aller Bewegungskombinationen, sofern sie dazu dient, das Ergebniss der Interferenzen zu ermitteln, wird gewöhnlich als Prinzip der Superposition (Uebereinanderlagerung) der Schwingungen bezeichnet, weil es aussagt, dass jedes Wellensystem genau in der Weise in einem bereits in Wellenbewegung befindlichen Mittel auftritt, wie es, falls es allein vorhanden gewesen wäre, sich über die ruhende Oberfläche gelegt haben würde. Jedes Wellensystem bildet sich also so aus, als ob andere Systeme überhaupt nicht vorhanden gewesen wären. Jedes behauptet sein eigenes Dasein in dem Zusammenwirken mit anderen Systemen und jedes schreitet, nachdem es diese durchkreuzt, oder, wie man sich ausdrückt, mit ihnen interferirt hat, in der Weise fort, als ob es nie eine Störung erfahren hätte. Als Beispiel mögen wiederum die Wasserwellen herangezogen werden. Wirft man zwei oder mehrere Steine gleichzeitig auf verschiedene, einander benachbarte Stellen einer Wasserfläche, so erzeugt jeder Stein fort-

Princip der Superposition.

schreitende, immer grösser werdende Wellenkreise. Diese treffen auf einander und durchkreuzen sich in den verschiedensten Richtungen. Allein die einzelnen Wellensysteme setzen auch nach der Durchkreuzung ungehindert ihren Weg fort.

Interferenzvorgänge können sowohl durch Wellen, welche in gleicher Richtung fortschreiten, als auch durch solche, die sich begegnen, erzeugt werden. Im Einzelnen hängt die Natur der Interferenzvorgänge von zahlreichen Faktoren ab, nämlich von der Fortpflanzungsrichtung und Länge der Wellen, von der Richtung und Dauer der Schwingung, sowie von der Amplitude und Phase.

α) Interferenz von Wellen gleicher Fortpflanzungsrichtung. Hier kann nur auf Folgendes hingewiesen werden.

Sind die Ausgangspunkte zweier Wellen von gleicher Länge, Fortpflanzungs- und Schwingungsrichtung um eine gerade Anzahl halber Wellenlängen von einander entfernt, so verstärken sich die Wellen, die Berge erreichen doppelte Höhe, die Thäler doppelte Tiefe. Liegen aber die Ausgangspunkte um eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen von einander entfernt, so schwächen sich die Wellen, d. h. die Berge und Thäler werden kleiner; sind überdies die Amplituden gleich, so treffen Berg auf Berg und Thal auf Thal, und die Wellen heben sich einander auf. Wenn die Wellen nicht vernichtet wurden, so schreiten sie mit der Form, welche sie vermöge ihrer Schwingungsphasen bei der Interferenz erhalten haben, in gleichem Zeitmaasse fort. Handelt es sich um die Einwirkung zweier Wellen von verschiedener Länge unter übrigens analogen Verhältnissen, so trennen sich die Wellen nach der Interferenz und jede setzt ihren Weg mit der ursprünglich ihr zukommenden Länge und Geschwindigkeit fort.

β) Interferenz von Wellen mit entgegengesetzter Fortpflanzungrichtung und Bildung stehender Wellen. In Fig. 297 sind einander entgegenlaufende Wellenzüge gleicher Wellenlänge und Schwingungsweite gezeichnet. Die punktirten und gestrichelten Linien versinnlichen die in der Richtung der Pfeile sich begegnenden Komponenten, die stark ausgezogene Linie stellt die Resultirende dar. In I erblicken wir zwei, von A und B kommende Wellen im Augenblicke des Zusammentreffens im Punkte O. Ihr Gangunterschied λ beträgt eine halbe Wellenlänge, denn es würde eine Verschiebung um diese Grösse erforderlich sein, um sie zur Deckung zu bringen. In II sind die beiden Wellen um je $^1/_{12}$ ihrer Länge über den Begegnungspunkt O hinweggeschritten. Ihr Gangunterschied, vorher $^6/_{12}$, ist also um $^2/_{12}$ vermindert, beträgt somit $^4/_{12} = {}^1/_3$ einer Wellen-

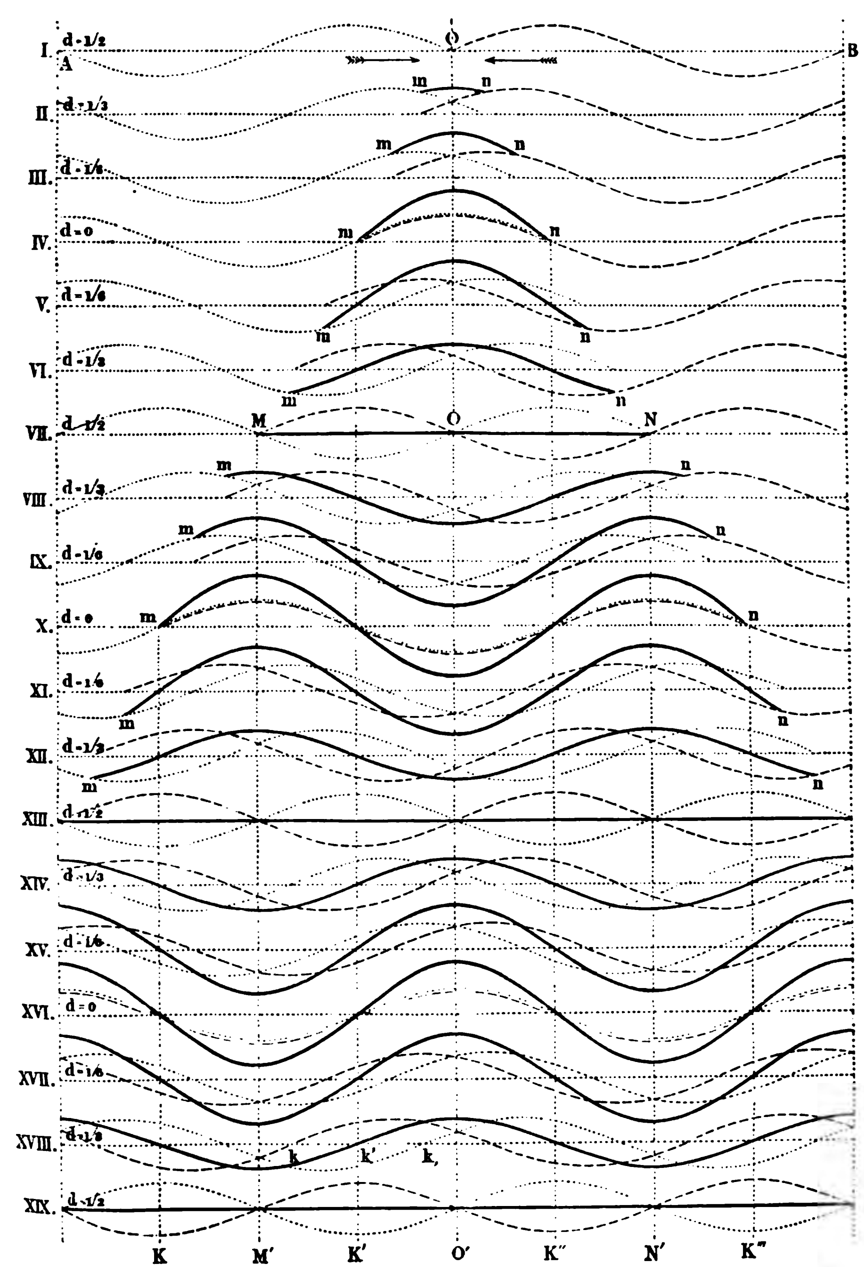


Fig. 297. Schema zur Erklärung der Interferenz sich begegnender Wellen. (Aus Müller-Pouillet-Pfaundler's Lehrbuch der Physik, Bd. I.).

länge. Die Kurve *mn*, erhalten durch Addition der Ordinaten, zeigt die resultirende Form. Die folgenden Bilder der Fig. 297 geben über das Resultat der Interferenz in immer späteren Zeitabschnitten Aufschluss, die um je $^1/_{12}$ der Schwingungsdauer aus einander liegen, wobei sich der Gangunterschied um je $^2/_{12}\,\lambda$ vermindert.

Im Bilde IV ist der Gangunterschied = Null geworden, die Komponenten decken sich, soweit sie über einander greifen, und der Wellenberg *mn* zeigt die doppelte Amplitude. Die nächsten Bilder lassen wieder einen Gangunterschied erkennen, der in VII bereits eine halbe Wellenlänge beträgt, so dass die Strecke, auf welcher sich die Berge und Thäler ganz übereinander legen, eine ganze Wellenlänge ausmacht. In diesem Augenblicke heben sich sämmtliche Exkursionen gegenseitig auf, alle Theilchen halten die Gleichgewichtslage ein, und die resultirende Form stellt sich als die Gerade MN dar. Im weiteren Verlaufe der Interferenz kommt es bei X aufs Neue zu einem Maximum der Verstärkung und bei XIII wieder zu einer völligen Aufhebung. Hier erstreckt sich die Interferenz auf zwei Wellenlängen. Die Bilder XVI und XIX zeigen die entsprechenden Vorgänge abermals. Aus der Konstruktion ergiebt sich, dass die aus der Interferenz hervorgegangene Welle stets eine sekundäre Erscheinung ist und nicht fortschreitet, sondern an derselben Stelle bleibt, wo ihre Berge und Thäler mit einander wechseln. Die Exkursionsmaxima der aus der Interferenz hervorgegangenen Welle liegen symmetrisch in der Mitte der Maxima der Komponenten. Weil diese mit gleicher Geschwindigkeit von beiden Seiten her zusammenrücken, so fallen sämmtliche Ausweichungen der Resultirenden, die Bäuche genannt werden, in die Senkrechten MM', OO' und NN', wo sie zwar ihre Höhe aber nicht ihren Platz ändern.

Diejenigen Punkte, in denen die Resultirende keine Ausweichungen zeigt, in denen die Amplitude der schwingenden Theilchen also momentan gleich Null ist, heissen Knoten. Sie liegen in der Mitte zwischen den Nullexkursionen der Komponenten in den über K, K', K'' und K''' errichteten Senkrechten, wie aus der Lage von k' zwischen k und k_1 im Bilde XVIII ersichtlich ist.

3. Stehende Wellen.

Wellen von der soeben geschilderten Beschaffenheit heissen stehende, weil sie an derselben Stelle bleiben. Nur Wellen, welche sich gegeneinander bewegen und gleiche Länge und Amplitude haben, können durch Interferenz solche Gebilde erzeugen.

Die Entstehung stehender Wellen lässt sich mit Hülfe von Seilen, Saiten und Stäben, wegen der an diesen gesondert darstellbaren Berge und Thäler, am leichtesten verfolgen.

Bildung stehender Seilwellen.

In Figur 298 sei an dem zwischen *A* und *B* ausgespannten Seil in I das Wellenthal 0 1 erzeugt worden, wozu eine bestimmte Zeit t erforderlich war. Nach Ablauf der Zeit 2 t nimmt das in der Richtung des Pfeiles von *A* nach *B* fortschreitende Thal die Stelle zwischen 1 und 2 in II ein, während das Seil auf der Strecke zwischen 0 und 1 wieder zur Ruhe gelangt. Nach Ablauf der Zeit 3 t befindet sich das Thal zwischen 2 und 3 in III. Während des dritten Zeittheilchens wird gegen das Seil ein Schlag von gleicher Dauer und Stärke wie vorher geführt; es erscheint ein zweites Thal zwischen 0 und 1 in III, welches in derselben Weise fortschreitet. Noch ein drittes und viertes Thal möge den beiden ersten in gleichem Tempo nachgesandt werden. Wenn das erste Thal bei 4 in IV angelangt ist, beginnt in V bei 4 die Reflexion. Thal wird Berg. An seinem ungestörten Rückgange wird aber der Berg durch das ihm entgegenkommende zweite Thal zwischen 2 und 3 in V verhindert. In dem Punkte V 3 begegnen sich beide. Der Berg sucht diesen Punkt zu heben, das Thal ist bestrebt ihn zu senken. Es erfolgt Interferenz und dadurch wird V 3 ein Punkt der Ruhe und ist als feste Abgrenzung, gewissermaassen als ein dritter Befestigungspunkt des Seiles, zu betrachten. Zwischen 3 und 4 in VI bildet sich eine stehende Welle. Ganz in derselben Weise entsteht auch in VII zwischen 2 und 3 und in VIII zwischen 1 und 2 eine stehende Welle. Bei gleichartigem Verlaufe der Interferenz wird endlich in IX das ganze Seil in vier stehende gleiche Wellen zerlegt, welche der Gesammtlänge zweier fortschreitenden Wellen entsprechen. Obwohl es den Anschein hat, als könnten stehende Wellen primär erzeugt werden, so sind sie in Wirklichkeit doch eine sekundäre Erscheinung und stets das Resultat der Reflexion und Interferenz sich begegnender fortschreitender Wellen.

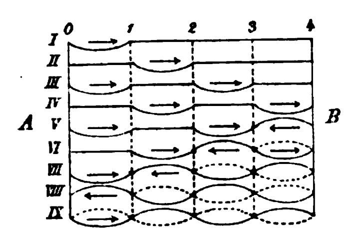


Fig. 298. Schema für die Erzeugung stehender Seilwellen.

Wesen stehender Wellen.

Das Wesen stehender Wellen besteht darin, dass alle in Bewegung befindlichen Theilchen derselben die gleiche Phase haben, dass also der Beginn der Primitivbewegung, das Durchschreiten der Gleichgewichtslage und das Erreichen der Grenzen der Schwingungsampli-

tuden bei allen an der Wellenbewegung participirenden Theilchen gleichzeitig erfolgt. Aus diesem Grunde ist das Auftreten stehender Wellen auch auf ganz bestimmte Strecken, d. h. auf Raumgebiete von verhältnissmässig geringer Ausdehnung beschränkt. Charakteristisch für stehende Wellen ist der Umstand, dass die Amplitude der verschiedenen Theilchen zwar isochron, aber von verschiedener Grösse, für einige von ihnen am grössten; für gewisse andere am kleinsten und momentan gleich Null ist. Die Stellen, an denen die Amplitude momentan den Werth Null hat, sind die erwähnten Knoten (zu vergl. Fig. 297 u. 298). Die zwischen diesen gelegenen Gebiete, die sich im Allgemeinen in lebhaftester Bewegung befinden, sind die Schwingungsbäuche.

Bei fortschreitenden Wellen ist, wie wir gesehen haben, die Amplitude aller Theilchen dieselbe, und Knoten und Bäuche sind nicht vorhanden.

In der Fig. 299 deuten die Pfeile an, wie alle Theilchen auf der ganzen Strecke einer stehenden Welle zu gleicher Zeit ihre Oscillation beginnen und gleichzeitig in die Ruhelage zurückschwingen, jedoch mit den verschiedensten Elongationen. Zwischen je zwei Halbwellen ($a\,b$ und $b\,c$), aus denen man jede stehende Welle als zusammengesetzt betrachten kann, befindet sich als Punkt kleinster Bewegung der Knoten b. Vergleicht man Fig. 299 mit Fig. 295, so erkennt man leicht den fundamentalen Unterschied zwischen der stehenden und fortschreitenden Wellenbewegung.

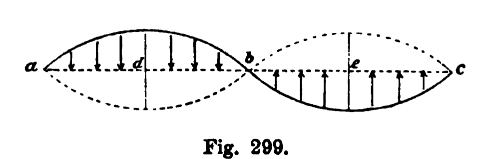


Fig. 299.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass man sich, wenn die Amplituden gegen einander fortschreitender Wellen ungleich gross sind, die Welle mit der grösseren Amplitude in zwei Wellen zerlegt denken kann und zwar in der Art, dass eine von diesen in der Amplitude mit der entgegenkommenden Welle übereinstimmt und mit dieser eine stehende Welle bildet, während die andere, durch die Zerlegung entstandene Welle fortschreitet. Unter diesen Umständen bleiben dann die Knoten und Bäuche nicht an derselben Stelle, wie bei der reinen stehenden Welle, sondern haben fortschreitende Bewegung.

4. Unterscheidung zwischen Transversal- und Longitudinalwellen.

Transversal- u. Longitudinalwellen.

In allen bisher betrachteten Wellen erfolgte die Primitivbewegung der Theilchen senkrecht zur Längenausdehnung einer Welle. Es giebt aber auch Wellen, in welchen die Richtung der Primitivbewe-

gungen mit der Längsrichtung der Welle zusammenfällt. Hinsichtlich der Richtung der Primitivbewegungen unterscheidet man daher Transversal- und Longitudinalwellen. Um den Unterschied beider zu erkennen, denken wir uns eine Anzahl in einer geraden Linie hinter einander gelegener Theilchen in schwingender Bewegung. Bei Longitudinalschwingungen ändern sich die Abstände der Theilchen periodisch mit der Zeit und dem Orte. Bei Transversalschwingungen ändert die ganze Linie periodisch ihre Gestalt. Von Longitudinalschwingungen kann es, mit Bezug auf die Bahnform nur eine Art geben, von Transversalschwingungen giebt es dagegen unendlich viele Arten, die wieder in geradlinige und krummlinige Transversalschwingungen zerfallen. Erstere gehen in allen möglichen auf der Linie senkrechten Richtungen vor sich, letztere können kreisförmige, elliptische etc. Bahnen oder Schraubenbahnen (Dreh- oder Torsionsschwingungen) aufweisen. Die reinen Longitudinal- und Transversalschwingungen stellen die einfachsten Grenzfälle dar. Vielfach bildet aber die Schwingungsrichtung mit der Richtung der geraden Linie einen schiefen Winkel. Je nachdem dieser klein oder von 90° wenig verschieden ist, spricht man von quasilongitudinalen und quasitransversalen Schwingungen. In Körpern des gasförmigen Aggregatzustandes treten nur Longitudinalschwingungen auf; feste und flüssige Körper können sowohl in longitudinale als auch transversale Schwingungen versetzt werden. Als eine Zusammensetzung beider Schwingungsarten lassen sich die Wasserwellen ansehen, denn in grösserer Tiefe des Wassers tritt, wie erwähnt, an Stelle der elliptischen und kreisförmigen Bahnen der Theilchen, ein waagerechtes Hin- und Hergehen derselben.

Das Mannigkeitsverhältniss von Longitudinal- und Transversalschwingungen ist bei einer Fläche, im Vergleich zur Linie, das umgekehrte. Für eine Fläche giebt es nur eine Art von Querschwingungen, aber unendlich viele Arten von Längsschwingungen.

Körperschwingungen, welche in einer periodischen Veränderung des Volumens bestehen, heissen Pulsationen.

Da bei Longitudinalschwingungen keines der schwingenden Theilchen aus der Schwingungsebene heraustritt, so giebt es bei dieser Schwingungsart keine Wellenform mit Bergen und Thälern, wohl aber ist der Abstand zwischen den einzelnen Theilchen bald kleiner, bald grösser als in ihrer Ruhelage. Eine longitudinale Welle bringt daher in dem Mittel, in welchem sie auftritt, abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen hervor, die in den um eine halbe Wellenlänge von einander entfernten Punkten ihr Maximum erreichen.

Entstehung und Wesen von Longitudinalwellen.

Die Entstehung und das Wesen der Longitudinalwellenbewegung wollen wir an dem, in Fig. 300 dargestellten Metallstabe AB noch verdeutlichen. Wir denken uns denselben aus einzelnen Molekelschichten (1—2, 2—3 .... 15—16) bestehend. Führen wir gegen das Ende A des passend aufgehängten Stabes (Fig. 301) mit einem Hammer H einen Schlag, so bewirkt derselbe, dass in dem Stabe in der Richtung von A nach B seitens der elastischen Molekeln eine nähere

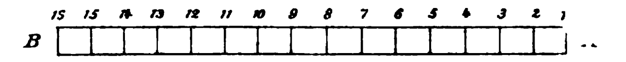


Fig. 300. Schema zur Erklärung der Bildung von Longitudinalwellen.

Aneinanderlagerung über eine gewisse Strecke hin eintritt, deren Länge einestheils von der Stärke und Dauer des Schlages, anderentheils von der molekularen Beschaffenheit des Stabes abhängt. Wenn dieser Zustand sich bis zum Ende B des Stabes fortpflanzt, so wird die Schicht 15—16 aus ihrer Ruhelage verdrängt, woraus zu folgern

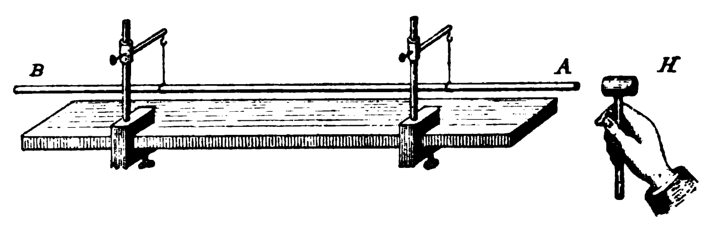


Fig. 301. Longitudinale Erregung eines Eisenstabes $A\ B$ durch einen axial gegen denselben geführten Schlag mit dem Hammer H.

ist, dass sich der Stab für einen Augenblick über B hinaus um so viel verlängert, als die Verschiebung der letzten Molekelschicht beträgt. Während die erste Molekelschicht die zweite aus ihrer Lage verdrängt, kann sie, wegen der elastischen Beschaffenheit der Molekeln, selbst nicht in der neuen Lage verharren, sondern sie kehrt nach A, und sogar noch etwas darüber hinaus zurück. Wenn die zweite Schicht sich gegen die dritte bewegt, ist die erste schon auf dem Rückwege begriffen, und es entsteht daher am Ende A bei dem innigen Zusammenhange des ganzen Stabmateriales, in Folge einer Dehnung desselben, eine Raumvergrösserung, die vorher nicht vorhanden war. Dieselbe Erscheinung spielt sich in analoger Weise in den übrigen Schichten des Stabes ab.

Bei den beschriebenen Vorgängen handelt es sich, obwohl nicht so auffällig wie bei Wasser- und Seilwellen, um eine fortschreitende Bewegung, die sich dem Wesen nach aus Primitivbewegungen der Metalltheilchen und einer daraus resultirenden Bewegung zusammensetzt und deswegen auch als Wellenbewegung bezeichnet wird. Die Primitivbewegungen bestehen in Schwingungen der Molekeln um ihre ursprünglichen Gleichgewichtslagen. Die Schwingungen erfolgen im Allgemeinen geradlinig, parallel zur Axe des Stabes, also in der Längsrichtung desselben. Die resultirende Bewegung besteht in Zusammenziehung und Dehnung des Stabmateriales oder, wie man sich ausdrückt, in einer Wellenverdichtung und Wellenverdünnung.

Es werden aber durch den gegen das Stabende *A* geführten Schlag nicht nur longitudinale, sondern auch transversale Schwingungen erzeugt. Um die ersteren ohne Beimischung der letzteren zu

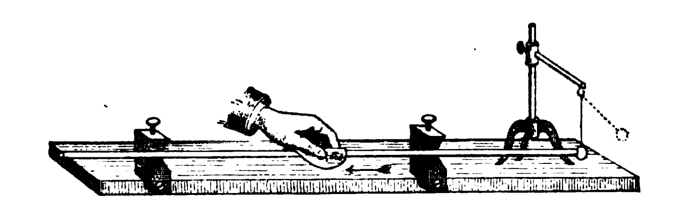


Fig. 302. Longitudinale Erregung eines Eisenstabes durch Reiben.

erhalten, klemmt man den Stab fest, wie Fig. 302 zeigt, und reibt ihn der Länge nach mit Leder, welches vorher mit gepulvertem Geigenharz (Kolophonium) bestreut wurde. Ueber die Verlängerung und Verkürzung des Stabes bei der longitudinalen Erregung giebt ein leichtes Pendel Aufschluss, welches man in der Art aufhängt, dass der Pendelkörper das Ende des Stabes berührt. Das Pendel wird, sobald der Stab gerieben wird, wobei ein Ton entsteht, abgestossen (Fig. 302). Die Abstossung wird zwar auch durch den Schlag mit dem Hammer hervorgerufen, doch spielt dabei die Fortpflanzung des Stosses eine Rolle, während die Reibung den Vorgang rein darstellt.

Ebenso wie durch transversale können auch durch longitudinale Schwingungen fortschreitende und stehende Wellen erzeugt werden. Bei der fortschreitenden Longitudinalwelle werden die mit einander abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen sich über immer weitere Strecken ausbreiten. Durch Reflexion und Interferenz wird es zu einer Lokalisation der Verdichtungen und Verdünnungen an bestimmten Stellen kommen, wodurch, analog der Bildung stehender

Transversalwellen, zur Entstehung stehender Longitudinalwellen Veranlassung gegeben wird.

In nachstehender Tabelle stellen wir die im Vorhergehenden besprochenen Arten der Wellen unter Hinzufügung einiger Beispiele, zusammen:

Welle				
transversale			longitudinale	
stehende	forschreitende	kombinirt	fortschreitende	stehende
Schwingungen gestrichener Saiten und gespannter Membranen	Wellenzug im gespannten Seil	Wasserwellen Erdenbebenstösse	Explosive Lufterschütterung, Schwingungen elastischer Stäbe nach Erschütterung in der Längsaxe	Schwingungen abgegrenzter Luftsäulen

Als Fundamentalwerk für das Studium der Wellenbewegung ist zu nennen:

E. H. Weber und W. Weber: Wellenlehre auf Experimente gegründet. Leipzig, Fleischer 1825 mit 18 Tafeln; auch im 5. Bande von Weber's Werken hersg. im Auftrag der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen von Ed. Riecke, Berlin, Springer 1893.

5. Bemerkungen über Wellenmaschinen.

Die verschiedenen Arten von Wellen lassen sich mit Hülfe sogenannter Wellenmaschinen sehr anschaulich machen. Man kann dieselben in zwei Klassen bringen. Zu der einen Klasse gehören solche Apparate, mit denen sich wirkliche Wellenbewegungen hervorrufen lassen. Die andere Klasse umfasst Vorrichtungen, welche die Wellenbewegungen, sei es auf mechanischem oder optischem Wege, nur nachzuahmen gestatten.

Die bekannteste und gebräuchlichste Wellenmaschine der ersten Klasse ist die von A. F. Weinhold (Physik. Demonstrationen, Leipzig, Quandt und Händel 1887, 2. Aufl., p. 206, Taf. IV, Fig 178).

Von den Apparaten der zweiten Klasse findet die phoronomische (gr. φορέω das verstärkte φέρω ich trage [fortwährend] ἡ νώμησις die Bewegung) Wellenmaschine von Mach (Carl's Repert. f. Experimentalphysik VI, p. 8) häufige Verwendung. Das Original ist in neuerer Zeit verschiedentlich abgeändert worden. Eine sinnreich verfertigte Schiene hat A. Höfler (Zeitschrift f. physik. u. chem. Unterricht 1896, Jahrg. 9, p. 66) hinzugefügt.

Bezüglich anderer Apparate sei noch auf folgende Literatur verwiesen:

G. Bongiovanni: Le spirali cilindriche di filo metallico come modello delle onde stazionarie longitudinali. Il nuovo cimento 1898, T. 8, Nr. 7, p. 61.

F. Cheshire: Wave motion model Nature 1892, Vol. 45, p. 347 mit 2 Abbildg. im Text.

A. Crova: Description d'un appareil pour la projection mécanique des mouvements vibratoires. Annales de chim. et de phys. 1867, Ser. 4, T. XII. p. 288 mit Pl. I. (9 Fig.).

Eisenlohr: Lehrb. der Physik, 11. Aufl. von P. Zech, p. 137.

K. Geissler: Eine Wellenkippmaschine. Zeitschrift f. phsik. und chem. Unterricht, 1897, Jahrg. 10, p. 283 mit 4 Abb. im Text.

C. L. Gerling: Darstellung aller Polarisationsbewegungen und einer zweiten verwandten Wellenbewegung durch Zusammensetzung zweier Schraubenbewegungen, nebst Nachricht von einem Apparat dazu. Annalen der Phys. u. Chem., 1858, Bd. 105, p. 175.

Höfler: Schulapparat zur Demonstration der Superposition der Wellen. Carl's Repert. d. Experimentalphysik Bd. 14, p. 527.

Izarn: Appareil démontrant le mécanisme des ondes stationaires. Séances de la Soc. franç. de phys. 1892, p. 172; Journal de phys. 1892, (3), T. 1, p. 301.

L. Pfaundler: Ein Wellenapparat zur Demonstration der Zusammensetzung von zwei oder mehreren Transversalwellen mit stetiger Aenderung des Gangunterschiedes. Zeitschrift f. physik. u. chem. Unterricht 1887—88, Jahrg. 1, p. 98 mit 2 Abb. im Text.

Plücker: Ueber die Fessel'sche Wellenmaschine, den neueren Boutigny'schen Versuch und das Ergebniss fortgesetzter Beobachtungen in Betreff des Verhaltens krystallisirter Substanzen gegen den Magnetismus. Annalen der Physik u. Chem. 1849, Bd. 78, p. 421, mit Abbildung.

O. Schulze: Akustischer Wellen-Apparat. Annalen der Physik u. Chem. 1857, Bd. 100, p. 583, Taf. 7, Fig. 4.

6. Ausbreitung der Wellenbewegung.

Die Art der Ausbreitung der Wellenbewegung hängt von der Beschaffenheit des Mediums ab, in welchem die Bewegung vor sich geht. Ganz allgemein bezeichnet man die Richtung, in welcher die Bewegung sich fortpflanzt in abstraktem Sinne als Wellenstrahl, den Vorgang der Fortpflanzung als Strahlung. Man redet daher von Schall- und Wärmestrahlen und anderen Energiestrahlen. Mehrere Strahlen bilden ein Strahlenbündel oder Strahlenbüschel. Ist das Medium in der Richtung der Wellenausbreitung an Dichte und Elasticität unveränderlich, so nennt man es homogen, im entgegengesetzten Falle heterogen. Wenn Dichte und Elasticität des Mediums in allen möglichen Richtungen zu einander in demselben Verhältnisse stehen, so heisst das Medium isotrop, anderenfalls anisotrop. (Zu vergl. auch Bd. I, p. 620.)

Die Wellenbewegung kann sich in Ebenen (eindimensional), in koaxialen Cylinderflächen (zweidimensional), und in konzentrischen Kugelflächen (dreidimensional) ausbreiten. Man unterscheidet demnach ebene Wellen, Cylinderwellen und Kugelwellen. Ebene Wellen sind dadurch ausgezeichnet, dass die Wellenflächen lauter parallele Ebenen sind. Für Cylinderwellen stellt die Axe der koaxialen Flächen eine Erregungslinie dar. Für sphärische Wellen erfolgt die Erregung vom Mittelpunkte der konzentrischen Kugelflächen aus.

Diffuse Ausbreitung heisst die Fortpflanzung einer Wellenbewegung nach allen Richtungen und nicht nur vom primären Erregungscentrum aus, sondern auch dann, wenn die Wellenbewegung Punkte trifft, die durch sie zu sekundären Bewegungscentren werden. Raumgebiete, die von einer gegebenen Wellenbewegung wenig oder gar nicht beeinflusst sind, werden allgemein als Schatten bezeichnet. Beim Vorhandensein mehrerer Erregungspunkte kann man zwischen partiellem und totalem Schatten unterscheiden, je nachdem die betreffenden Raumgebiete von der Wellenbewegung theilweise berührt werden, oder ganz unberührt bleiben.

Die Stärke oder Intensität einer Strahlung von gleichbleibender Schwingungsamplitude nimmt mit der Entfernung vom Erregungspunkte im gleichen Verhältnisse ab, wie die Grösse der Wellenflächen wächst.

Für Kugelwellen steht die Strahlungsintensität im umgekehrten Verhältnisse zu dem Quadrate der Entfernung vom Erregungspunkte, bei Cylinderwellen ist sie dem Abstande von der Erregungslinie umgekehrt proportional und bei ebenen Wellen ist sie von dem Abstande von der Erregungsebene unabhängig und daher konstant.

Wenn eine fortschreitende Wellenbewegung eine Abnahme ihrer Amplitude erleidet, so redet man von Absorption der Strahlung. Da die Strahlungsgesetze sich nur auf Wellen mit gleichbleibender Schwingungsamplitude beziehen, so verlieren sie bei dem Vorgange der Absorption ihre Gültigkeit.

III. Wesen und Arten des Schalles.

Die in dem Stabe (Fig. 301 und 302) erzeugten Schwingungen versetzen die umgebende atmosphärische Luft in Erschütterungen. Zuerst werden die dem Stabe am nächsten gelegenen Lufttheilchen erregt. Jedes Lufttheilchen übermittelt dann den empfangenen Primitivimpuls dem ihm benachbarten Theilchen und so pflanzt sich die Primitivbewegung nach allen Richtungen von Theilchen zu Theilchen fort, während jedes derselben longitudinale, von Verdichtung und Verdünnung begleitete Oscillationen um seine Ruhelage ausführt. Die Schwingungen, welche Lufterschütterungen hervorbringen, sind stehende, gleichgültig, ob sie transversal oder longitudinal erfolgen. Die Ausbreitung der Erschütterungen in der Luft geschieht nur in Form von longitudinal fortschreitenden Wellen. Wenn nun solche fortschreitenden Verdichtungs- und Verdünnungswellen auf das Trommelfell unseres Ohres treffen, so versetzen sie dasselbe in stehende Transversalschwingungen, die in demselben Zeitmaasse

erfolgen, in welchem der Körper schwingt, von dem die Erregung ausging. Die Bewegungen des Trommelfells übertragen sich durch besondere mit ihm verbundene Apparate auf den Mechanismus des inneren Ohres, insbesondere auf die sogenannten Hörzellen, welche als Neuroepithel die Empfangsstationen des Hörnerven bilden und die Vermittler des Energieverkehrs zwischen ihm und den schwingenden Medien darstellen.

In den nervösen Elementen rufen die Schwingungen einen Bewegungsvorgang noch unbekannter Art hervor, den man Nervenwelle oder Neurocym genannt hat, und der sich durch den Hörnerven auf die Hirnrinde überträgt. Dort treten die Endkörbchen der Nervenfasern mit den Dendriten von Ganglienzellen in Kontakt, und mit deren Erregung wird eine spezifische Empfindung ausgelöst, die, als Vorstellung ins Bewusstsein gelangt, von uns Schall genannt wird.

Begriff des Schalles.

Es sind also stets in Bezug auf Zahl allerdings innerhalb bestimmter Grenzen verlaufende Schwingungsbewegungen ausser uns, welche der objektiven Gehörswahrnehmung zu Grunde liegen. Fehlt es den in Betracht kommenden nervösen Elementen an der Fähigkeit, die Schallreize spezifisch umzuwandeln und das Umwandlungsprodukt zur Perception zu bringen, mit anderen Worten: vermögen wir die Schwingungen nicht zu hören, so erlangen wir keine Schallvorstellung. In dieser Lage befindet sich der Taube, welcher Schwingungen, die für das normale Ohr Schallreize sind, nur als Erschütterungen wahrnimmt.

Subjektive Gehörsempfindungen.

Den auf äusseren Eindrücken beruhenden objektiven Gehörswahrnehmungen stehen die subjektiven Gehörsempfindungen gegenüber. Subjektive Gehörsempfindungen sind alle diejenigen, denen keine objektive Schallquelle ausserhalb des Körpers zu Grunde liegt. Subjektive Gehörsempfindungen machen sich mehr oder weniger deutlich bemerkbar, je nachdem man die Aufmerksamkeit darauf lenkt oder sie in Folge von Gewöhnung unbeachtet lässt. Manche der in Rede stehenden Empfindungen treten gelegentlich unter physiologischen Verhältnissen auf. Dahin gehört beispielsweise das vorübergehende Nachklingen nach einer leichten Erschütterung des Gehörorganes. In anderen Fällen werden die subjektiven Gehörsempfindungen durch Innervations- oder Ernährungsstörungen, durch Entzündungsprozesse, Vergiftungen, heftige Erschütterungen des Kopfes oder des ganzen Körpers bald schwächer, bald stärker, bald vorübergehend, bald dauernd verursacht.

Die subjektiven Gehörsempfindungen stellen sich in der Regel als *Brummen*, *Sausen* oder *Klingen* (*Tinnitus* [lat. tinnio ich klinge] aurium) dar.

Gewisse Arzneimittel, wie *Chinin* (zu vergl. Bd. I, p. 461) und *Salicyl* (zu vergl. Bd. I, p. 460) erzeugen, innerlich genommen, subjektive Gehörseindrücke, zu denen sich nicht selten hochgradige Störungen gesellen.

Nach der Ansicht einiger Forscher wie *Roosa* (Transact. of the americ. otol. soc. annual meeting 1875 und Bericht über den 4. internat. otol. Kongr. in Brüssel, Arch. f. Ohrenheilkunde 1888, 28, p. 63) und *Schwabach* (Deutsche med. Wochenschrift 1884, Nr. 11, p. 163) sind diese Erscheinungen, insbesondere nach dem Gebrauche von *Chinin*, der vasomotorischen Wirkung desselben und der damit zusammenhängenden Labyrinthhyperämie zuzuschreiben.

Gehörshallucinationen.

Von den eigentlichen subjektiven Gehörsempfindungen hat man die *Gehörshallucinationen* (lat. alucinatio [hallucinatio] gedankenloses Reden, Träumerei) und *entotischen* (gr. ἐντός innerhalb, τὸ οὖς, ὠτός das Ohr, also im Ohre entstehend) *Geräusche* unterschieden. Die Hallucinationen beruhen im Wesentlichen auf Reizzuständen der Hirnrinde nervös belasteter, geistig überbürdeter oder hysterischer Personen und offenbaren sich häufig in subjektivem Hören von Menschen- und Thierstimmen, von Strassenlärm, Thürenklappen, Peitschenknallen, Kettenrasseln und allerhand anderen Dingen.

Entotische Geräusche.

Entotische Geräusche sind Gehörsempfindungen, welche durch eine *im* Körper befindliche objektive Schallquelle ausgelöst werden, die gewöhnlich im Ohre oder in dessen Nachbarschaft gelegen ist. Dahin gehören Geräusche, welche von Cirkulationsstörungen herrühren, ferner Muskelgeräusche und Geräusche, die im Ohre befindliche Fremdkörper verursachen.

Begriff der Akustik.

Die Lehre vom Schall wird *Akustik* (gr. ἀκούω ich höre) genannt. Sie umfasst alle Vorgänge, die bei dem Akte des Hörens in Betracht kommen, also einestheils die Schwingungsbewegungen in der Aussenwelt, welche für unser Ohr Schallreize darstellen, anderentheils die Wirkungen, welche die Schallreize auf das Ohr und durch dieses auf die Seelenthätigkeit hervorbringen. Man könnte die Akustik also in einen rein physikalischen und in einen physiologisch-psychologischen Abschnitt theilen und jeden gesondert behandeln. Würde man auch die Einflüsse krankhafter Veränderungen des Ohres auf das Hören in Betracht ziehen, so liesse sich noch ein pathologischer Abschnitt angliedern. In diesem Buche scheint es am zweckmässigsten keine scharfe Trennung der einzelnen Abschnitte vorzunehmen, sondern den daraus zur Besprechung gelangenden Stoff in passender Weise zu verschmelzen.

Verschiedene Arten der Schallreize.

Als Schallreize kommen in erster Linie periodische Schwingungen in Betracht, die sich in einer gewissen Zeit in hinreichender Zahl wiederholen. Aber auch Bewegungen, welche nicht periodisch wiederkehren, verursachen Schallempfindung. Man kann daher von verschiedenen Schallarten reden, für welche besondere Benennungen gebräuchlich sind, wenn es auch oft schwierig ist, zwischen den verschiedenen Arten des Schalles eine bestimmte Grenze zu ziehen. Man unterscheidet gewöhnlich dauerlosen und anhaltenden Schall. Zu ersterem gehört der Knall, zu letzterem das Geräusch und der Ton. Geräusch nennt man den Dauerschall dann, wenn die ihn hervorbringenden Schwingungen unregelmässig (aperiodisch) sind. Je nach der Art der Empfindung, welche die Schwingungen uns verursachen, haben wir für das Geräusch verschiedene Bezeichnungen, wie Knarren, Schnarren, Rasseln, Schnarchen, Sausen, Knistern, Klappern, Plätschern, Gurgeln, Röcheln, Zischen, Kratzen, Reiben u. s. w.

Geräusche.

Im gesunden und kranken menschlichen Körper vermag das geübte Ohr viele dieser Geräusche wahrzunehmen, und für den Arzt bilden dieselben häufig ein Erkennungszeichen für bestimmte krankhafte Zustände.

In dem Tagesgeräusch der Grossstädte kombiniren sich zahlreiche Einzelgeräusche zu einem unentwirrbaren Chaos.

Töne.

Ein Schall, der durch regelmässige (periodische) Schwingungen hervorgerufen wird, heisst Ton. Das subjektive Kriterium desselben besteht darin, dass er uns ästhetisch anmuthet, während den Geräuschen keine ästhetische Wirkung zukommt. Ein Mittelding zwischen Geräuschen und Tönen bildet die menschliche Sprache. Die in gewöhnlicher Weise gesprochenen Silben und Worte enthalten um so mehr Sprachgeräusch, je grösser die Zahl der darin enthaltenen Konsonanten, insbesondere der Zischlaute ist, ferner je mehr Einfluss individuelle Bildungen der Sprachorgane, sowie Angewöhnung und Anpassung beim Sprechen gewinnen. Gesellt sich zur Sprache der Rhythmus und besondere Betonung, wie bei der Deklamation, so nähern sich die Laute immer mehr den Tönen. Beim Gesang dominiren die letzteren und die Sprachgeräusche treten zurück.

Thierstimmen setzen sich ebenfalls aus Geräuschen und Tönen zusammen, bald herrschen die einen, bald die anderen vor. Bei vielen Insekten besteht das Stimmorgan aus Chitinplatten, welche an einander gerieben, rauhe und schrille Geräusche erzeugen. Et cantu querulae rumpent arbusta cicadae, sagt Virgil (Georg. III, 328) von den Grillen. Sein griechischer Kollege Anakreon dachte hierüber allerdings anders. Bei ihm (Od. 43, Jos. Barnes Ed. graec-latin. II, p. 149) singt die Cicade mit klangvoller Stimme, die Phöbus ihr gab.

Das Krächzen der Raben kann auf viel Ton keinen Anspruch erheben, wenn aber Philomele ihre Liebesweisen erschallen lässt, dann hören wir eine Fülle von Tönen.

Jeder Ton, auch der reinste, ist noch von Geräuschen begleitet,

welche dem tonerzeugenden Material in höherem oder geringerem Grade anhaften. Im Uebrigen unterscheidet man an jedem Ton, wie überhaupt an jedem Schall, drei charakteristische Merkmale, nämlich Höhe, Stärke und Klang. Die Höhe ist von der Anzahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit, beziehungsweise von der Wellenlänge, die Stärke von der Schwingungsamplitude abhängig. Den Ton einer Stimmgabel von 128 Schwingungen in der Sekunde nennen wir tiefer als den einer Gabel mit der doppelten Anzahl von Schwingungen, ganz unabhängig davon, ob die beiden Gabeln gleich oder ungleich stark angeschlagen wurden. Der Klang oder die Klangfarbe (Timbre) eines Tones wird wesentlich von der Zahl, Anordnung und Stärke der durch Theilschwingungen des Tonerregers erzeugten Theil- oder Obertöne bedingt, welche den Grundton begleiten. Sie verleihen jedem Tone von gleicher Schwingungszahl aber aus verschiedener Quelle ein spezifisches Gepräge.

Mit dem Namen Klang oder Klangfarbe bezeichnen wir also stets eine durch mehrere Theiltöne hervorgerufene zusammengesetzte Gehörsempfindung, während der Begriff des einfachen Tones sich auf eine einfache Gehörsempfindung bezieht. Ein Klang lässt sich demnach in einzelne Töne zerlegen, von welchen jedem eine bestimmte Schwingungszahl zukommt, während der einfache Ton nicht weiter zerlegt werden kann. Der Ausdruck Klangfarbe ist insofern nicht zutreffend gewählt, als die der Farbe des Lichtes entsprechende Tonqualität nicht mit dem Klange sondern mit der Tonhöhe in Parallele zu stellen ist.

Je nach der Art der Zusammensetzung eines Klanges aus seinen Obertönen, beziehungsweise aus der zeitlichen Vertheilung der Elongationswerthe, oder was dasselbe besagt, der Geschwindigkeitswerthe in der Schwingungsperiode unterscheidet man scharfe und sanfte, helle und dumpfe, volle und leere Klänge. Die äussere Form der Schwingungen, die Schwingungskurve eines Klanges, stellt sich bei graphischer Aufzeichnung verschieden dar. Die Schwingungsform steht in Zusammenhang mit dem Charakter des Klanges.

Mit Hülfe gewisser Apparate, welche Resonatoren heissen, lassen sich aus Klängen einfache Töne abscheiden. Letztere erhält man auch mittels sogenannter tönender Flammen in kurzen und weiten Röhren.

Die Flageolettöne ((frz. flageolet die Flöte, prov. flaujol zusammenhängend mit dem lat. flatus [flo 1] das Flötenblasen) gestrichener Saiten, die Falsetttöne (ital. falsetto [vom lat. fallĕre täuschen] die falsche Stimme, Kopf- oder Fistelstimme) der Singstimme und die Töne einer auf einem Resonanzkasten befestigten, durch Anstreichen erregten Stimmgabel sind ebenfalls einfache Töne, dagegen sind die Töne der musikalischen Instrumente meist sehr zusammengesetzt.

IV. Grenzen der Tonwahrnehmungen.

Es wurde bereits bemerkt, dass die Zahl der Schwingungen, welche Schallempfindungen erzeugen, zwischen gewissen Grenzen liegt. Ueber diese Grenzen liegen sehr verschiedene Angaben vor. Sicher ist, dass die Grenzen für verschiedene Menschen, ja sogar für ein und dasselbe Individuum, normale Gehörsfunktion und gleiche Schallintensität vorausgesetzt, nicht konstant sind. Es giebt Leute, die hohe Töne gut, tiefe Töne schlecht hören und umgekehrt. Bei alten Leuten liegt die obere Grenze im Allgemeinen niedriger als bei jugendlichen Individuen.

Nach von Helmholtz (Die Lehre von den Tonempfindungen, Braunschweig, Vieweg 1870, 3. Ausg., p. 31 und 280) beginnt die Gehörswahrnehmung bei etwa 20 bis 28 Schwingungen in der Sekunde, aber erst bei 40 Schwingungen in der Sekunde nehmen die Töne einen bestimmten musikalischen Klang an. Nach W. Preyer (Grenzen der Tonwahrnehmung, Jena 1876, Physiolog. Abhandlungen I, H. 1) werden noch 15 bis 24 Schwingungen in der Sekunde von Einigen gehört, von Anderen nicht. In Bezug auf die obere Grenze gehen die Angaben viel weiter aus einander. Nach Preyer liegt die obere Grenze bei etwa 44000 Schwingungen. Andere rücken die obere Grenze noch höher hinauf. Es giebt nun zwar Menschen, deren Gehörorgan die angeborene oder erworbene Fähigkeit besitzt, noch Töne wahrzunehmen und zu unterscheiden, die wegen ihrer Höhe für gewöhnliche Ohren nicht mehr vorhanden sind, leider aber war es bisher in solchen Fällen meist sehr schwierig beziehungsweise unmöglich eine sichere Ueberzeugung dafür zu gewinnen, ob die Fähigkeit bei den betreffenden Personen wirklich existirt oder nur eingebildet ist. Es musste daher von Interesse sein nach Methoden zu suchen, die eine rein objektive Beurtheilung zulassen und die Richtigkeit der Angaben zu kontrolliren erlauben. Derartige Methoden sind von verschiedenen Forschern, in neuester Zeit namentlich von Rud. König in Paris (Annalen der Physik u. Chem., N. F. Bd. 69, p. 626 und 721 ff.) und A. Schwendt in Basel angewandt worden.

Thierry William Preyer, geb. 4. Juli 1841 in Moss-Side (bei Manchester), bedeutender Biologe, Prof. d. Physiol. in Jena u. Berlin, gest. 15. Juli 1897 in Wiesbaden (Nekrolog von Pagel in A. Bettelheim's biogr. Jahrb. 1898, p. 105).

Schwendt (Archiv f. d. gesammte Physiol. 1899, Bd. 75, p. 362) gelangte bei seinen experimentellen Bestimmungen der Wellenlänge und Schwingungszahl höchster hörbarer Töne unter Benutzung von Stimmgabeln, Klangstäben und Galtonpfeifen anfangs zu der Ansicht, dass Instrumente, welche nachweisbar über 40000 Schwingungen in der Sekunde geben, bis jetzt nicht angefertigt, und dass Töne von solcher Höhe auch noch von Niemandem gehört wurden.

Schwendt hat dann später (Verhdlg. der naturf. Gesellschaft in Basel 1900, Bd. XII, p. 247) mit einer von Edelmann in Mün-

Inhalt der 3. Lieferung der 2. Hälfte:

Druck der Kgl. Universitäts-Druckerei von H. Stürtz in Würzburg.